LA DÉCOUVERTE DU PASSÉ

LA DÉCOUVERTE DU PASSÉ

PROGRÈS RÉCENTS ET TECHNIQUES NOUVELLES EN PRÉHISTOIRE ET EN ARCHÉOLOGIE

Etudes réunies et présentées par A. LAMING
avec la collaboration de : R. J. C. ATKINSON, M. A., F. S. A., Université d'Edimbourg ; G. BAILLOUD, Musée de l'Homme ; H. BALFET, C. N. R. S. ; P. CHOMBARD DE LAUWE, C. N. R. S. ; A. FRANCE-LANORD, Musée Historique Lorrain ; G. LEMÉE, Université de Strasbourg ; A. LEROI-GOURHAN, Université de Lyon ; H. L. MOVIUS, Jr., Université Harvard ; K. P. OAKLEY, British Museum ; J. F. S. STONE, B.A., D. Phil., F.S.A.

PARIS
ÉDITIONS A. ET J. PICARD & Cie
82, RUE BONAPARTE, 82

1952

LISTE DES COLLABORATEURS

L'introduction et les notes préliminaires aux quatre parties de l'ouvrage ont été rédigées par A. LAMING.

La photographie aérienne. G. BAILLOUD, Musée de l'Homme, Paris, et P. CHOMBART DE LAUWE, Chargé de Recherches au Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.

Méthodes électriques de prospection. R. J. C. ATKINSON, M. A., F. S. A., Professeur à l'Université d'Edimbourg.

Le détecteur électro-magnétique. A. LAMING.

Connaissance du milieu préhistorique : la faune. A. LEROI-GOURHAN, Professeur à l'Université de Lyon, Directeur du Centre de Documentation et de Recherches préhistoriques, Paris.

Connaissance du milieu préhistorique : la flore. G. LEMÉE, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Strasbourg.

L'analyse des cercles de croissances. A. LAMING.

La datation des os fossiles par leur teneur en fluor. K. P. OAKLEY, British Museum (Natural History), Londres.

Le C14. H. J. MOVIUS, Jr. Conservateur au Peabody Museum de l'Université Harvard.

L'aimantation thermorémanente des terres cuites. A. LAMING, (avec la collaboration de E. THELLIER de l'Institut de Physique du Globe de Paris).

L'identification pétrographique des instruments de pierre. J. F. S. STONE, B. A., D. Phil., F. S. A., Salisbury.

Les microorganismes des silex. A. LAMING, (avec la collaboration de G. DEFLANDRE, Directeur du Laboratoire de Micropaléontologie de l'Ecole pratique des Hautes Etudes, Paris).

L'étude de la poterie. H. BALFET, Attachée de Recherches au Centre National de la Recherche Scientifique, Musée de l'Homme, Paris).

L'étude du métal. A. FRANCE-LANORD, Conservateur du Musée Historique Lorrain, Nancy.

AVANT-PROPOS

Les découvertes des sciences physiques et naturelles, les progrès de la technique, élargissent chaque jour le champ sur lequel s'exerce la patience du préhistorien. Ce sont les applications de ces progrès et de ces découvertes à la science du passé qui forment l'essentiel de cet ouvrage.

De nombreuses études existent, résumant nos connaissances sur l'homme des époques de la pierre taillée ou des périodes plus récentes. Une foule d'ouvrages ont vu et continuent à voir le jour, qui élargissent sans cesse davantage notre connaissance du passé. Monographies ou traités généraux, notes et notuscules sont innombrables. Les uns traitent directement des faits humains préhistoriques et de nos dernières acquisitions en ce domaine, qu'elles concernent l'homme lui-même ou son industrie, son évolution dans le temps ou sa répartition géographique ; les autres se centrent sur des sciences nettement distinctes, comme la géologie, la paléontologie, la paléobotanique dans l'espoir de reconstituer et de dater le milieu dans lequel vivait l'homme préhistorique.

Si cet ouvrage, doit souvent être amené à parler de ces diverses questions, son but cependant est assez différent. Il ne cherche pas à faire le point de l'état actuel de notre connaissance du passé, mais plutôt à étudier les moyens utilisés pour y parvenir. Il ne s'agit pas d'exposer ici ce que nous savons de l'homme préhistorique, mais plutôt ce que nous pouvons en savoir, quelquefois ce que nous pourrions en savoir. Nous avons parlé de moyens et non de méthodes. Bien que ces dernières aient rarement fait l'objet d'études systématiques, on les trouve exposées au cours de la plupart des manuels et de nombreux ouvrages généraux, et elles se dégagent d'elles-mêmes de la plupart des monographies. Aussi, à l'exception de quelques notes historiques, avons nous délibérément laissé de côté les méthodes les plus classiques (typologie, stratigraphie, etc.), pour nous cantonner aux aspects les plus récents, quelquefois les plus imprévus de nos possibilités de reconstitution du passé.

En réunissant ces documents, nous avons souhaité réaliser un triple objectif :

— Grouper des études dont les éléments sont éparpillés dans les publications les plus diverses et souvent difficiles d'accès (quelques uns des chapitres de l'ouvrage sont d'ailleurs inédits dans leur forme comme dans leur

substance), esquisser ainsi un tableau des perspectives de la préhistoire et donner une idée d'ensemble de nos possibilités théoriques ou pratiques de connaissance du passé.

— Réunir des informations pratiques succintes, des bibliographies, des adresses, en une série d'appendices correspondant à chaque chapitre, et faire ainsi de cet ouvrage un instrument de travail. Aucun fouilleur actuellement ne peut pratiquer toutes les méthodes d'observation ou d'analyse utilisables. Il doit se référer à des laboratoires ou à des chercheurs spécialisés, dont souvent le nom, l'adresse, la spécialisation exacte lui manquent. Il trouvera peut-être dans ces appendices le renseignement qui lui fait défaut.

— Répondre au public cultivé qui souvent s'étonne ou s'émerveille des conclusions hardies auxquelles parviennent les préhistoriens et qui se demande comment à partir de quelques rares vestiges, pierres taillées ou polies, tessons, ossements divers, il est possible de reconstituer avec une telle précision certains aspects de la vie de nos ancêtres.

Est-il permis d'ajouter que cet ouvrage s'adresserait volontiers aussi aux amateurs clandestins, jeunes ou vieux, qui fouillent et bouleversent des grottes d'eux seuls connues. Ils reviennent les poches bourrées d'os et de silex... et croient faire de la préhistoire. Ils ignorent qu'ils viennent de détruire irrémédiablement un passé conservé depuis des millénaires et que leur collection d'objets ne présente aujourd'hui aucune espèce d'intérêt scientifique si elle n'est accompagnée d'une multitude d'observations et de prises d'échantillons.

Pour réaliser cet effort de synthèse, des spécialistes français et étrangers ont été consultés, qui seuls, pour chaque méthode, chaque procédé étudié, pouvaient aller jusqu'au fond de la question et faire le point avec exactitude des possibilités, des impossibilités, des difficultés, des limites. Tous ont répondu avec une extrême cordialité, prodiguant renseignements et suggestions, acceptant le plus souvent de rédiger le chapitre correspondant à leur spécialité. Il est difficile, dans les formules académiques d'une préface, de remercier tous ceux qui ont participé à l'élaboration de cet ouvrage : M. Leroi-Gourhan d'abord qui en a vu se former le projet, MM. Atkinson, Bailloud, Melle Balfet, MM. Chombard de Lauwe, France-Lanord, Lemée, Movius, Oakley, Stone, qui ont bien voulu en rédiger chacun un chapitre ; M. Deflandre et M. Thellier qui, par leurs conseils et leurs indications, m'ont permis de rédiger les pages concernant les microorganismes des silex et l'aimantation des poteries; MM. Bigot, Cagniard, Canac, Keller-Tarnuzzer, Mathérat, du Mesnil du Buisson, Pittioni, Melle Roussel, qui ont eu l'amabilité de me fournir à plusieurs reprises des renseignements

indispensables ; MM. Granai et Hamard dont l'aide et les suggestions me furent si précieuses, M. Emperaire enfin qui a étroitement collaboré à la mise au point de l'ensemble. Sans eux, cet ouvrage eut été impossible. Grâce à eux, le projet d'abord beaucoup plus modeste, s'est peu à peu grossi et complété. Qu'ils en soient remerciés ici.

Il était impossible de traiter tous les sujets qui auraient pu entrer dans le cadre de cet ouvrage. On en a choisi quelques-uns susceptibles d'illustrer la variété, l'ingéniosité, l'efficacité de certaines des plus récentes applications de la science à la recherche préhistorique. Un essai de ce genre est toujours par quelque côté incomplet et inégal [1]. *Les uns le trouveront trop simple, les autres trop ardu. Mais si le cadre peut en déplaire, chaque chapitre cependant conserve sa valeur propre d'avoir été écrit ou dirigé par un spécialiste de la question* [2].

A. Laming

1. Les critiques, les objections, les suggestions de chacun seront les bienvenues et pourront peut-être servir un jour à améliorer et compléter une édition ultérieure.
2. Seul le chapitre VII a été rédigé d'après la littérature.

« Sans doute cette estime des âges par la superposition des cendres, et cette résurrection des générations au moyen de tessons d'argile ou de quelques éclats de pierre, paraîtront bien hasardées ; mais je ne cesserai de le dire : si je m'appuie sur de si frêles témoignages, c'est que je n'en connais pas d'autres, c'est qu'il y a peu d'espoir d'en trouver. Nous parlons d'un temps au-delà des temps, au-delà de toutes les traditions. Là, il ne s'agit plus de siècles et, dans cette nuit des jours écoulés, dans ces ténèbres, on se guide sur la moindre lueur. A défaut de monuments, il faut bien se contenter de leur poussière, et en l'absence des individus eux-mêmes, de la trace qu'y ont laissée leurs pas. »

BOUCHER DE PERTHES, 1847.
Antiquités Celtiques et Antédiluviennes,
vol. I, p. 164.

INTRODUCTION

LA DÉCOUVERTE DU PASSÉ

L'étude du passé de l'homme peut se faire selon deux directions différentes. Dans la première qui est celle classiquement suivie par l'histoire, les textes et la tradition constituent l'essentiel des matériaux du chercheur. Dans la seconde au contraire, la seule possible quand il s'agit de périodes pour lesquelles il n'existe ni textes, ni traditions, ce sont les vestiges matériels des civilisations passées qui constituent les seuls matériaux de la recherche.

Ces vestiges matériels sont de plus en plus abondants à mesure que l'on se rapproche de l'époque contemporaine. Ils se raréfient à mesure que l'on pénètre plus profondément dans les millénaires de la préhistoire pour devenir extrêmement rares, et difficiles à trouver, pour les époques les plus reculées ; plus ils sont rares d'ailleurs, plus ils sont précieux, et plus il faut déployer d'ingéniosité pour leur faire dire ce qu'ils ont à dire.

On divise généralement l'étude du passé humain en « temps historiques » et en « temps préhistoriques », et l'on baptise d'époque protohistorique la marge indécise qui les sépare. En fait, et sans vouloir discuter une terminologie depuis longtemps acceptée, dans la pratique de la recherche, on peut passer insensiblement de l'étude des vestiges préhistoriques à celle des vestiges d'époque protohistorique ou historique. Archéologues et préhistoriens utiliseront souvent des méthodes analogues de fouilles et d'études, qu'il s'agisse de vestiges mérovingiens, gaulois ou néolithiques, pour nous en tenir à notre seul pays.

Avec le Paléolithique, qui englobe des cultures aussi variées que celles des chasseurs du Magdalénien, celles des hommes de Néanderthal, d'autres beaucoup plus anciennes encore, le contexte géologique et paléontologique intervient d'une façon de plus en plus impérative. Mais dans tous les cas il n'y a pas de différence essentielle dans l'attitude d'esprit de tous ces

chercheurs lorsque, à la manière des ethnologues plus que des historiens, ils travaillent à la restitution des civilisations du passé à partir des traces matérielles qu'elles ont laissées.

Le domaine de la préhistoire ainsi défini comme une palethnologie est immense.

Elle s'attaque simultanément à des questions d'ordre technique et économique, religieux et artistique, à des problèmes de géographie humaine, à l'étude des milieux (climat, faune, flore), et cherche à replacer ces faits dans un cadre qui lui est propre et qu'elle doit élaborer, celui de l'évolution dans le temps. Elle remonte ou veut remonter jusqu'aux premières manifestations de la pensée et de l'intelligence, englobe toutes les activités humaines, biologiques ou culturelles, pour des espaces illimités et pour des durées vertigineusement longues. Et tout cela à partir de quelques pierres ou de quelques ossements, de quelques tessons de poterie, de quelques vestiges abandonnés, jetés, perdus il y a des milliers et des milliers d'années. Objectifs démesurés pour des moyens dérisoires.

Dans tous les cas, les matériaux sur lesquels le préhistorien fonde sa connaissance du passé sont des vestiges matériels accumulés dans le sol au cours des siècles. Ceux-ci se présentent dans des conditions si homogènes que, malgré la diversité des disciplines dont il doit faire usage (géologie, paléontologie, paléobotanique, etc.) et malgré la variété des buts poursuivis, la préhistoire a une méthode de travail bien définie. Cette méthode repose sur l'étude et la comparaison des « types » d'outils ou autres vestiges découverts (typologie), de leur superposition dans les couches archéologiques (stratigraphie) et de leur répartition géographique (cartes de répartition). Par un jeu incessant de comparaisons, de rapprochements, de recoupements sont ainsi jetées les bases de l'étude des restes matériels des civilisations, de leur répartition dans l'espace, de leur succession dans le temps. La géologie, la paléontologie, la paléobotanique fournissent des indications d'âge et de milieu. L'ethnographie permet l'interprétation de certains faits qui, sans elle, resteraient incompréhensibles. Tel est, grossièrement tracé, le schéma de la préhistoire classique.

Ce schéma, plus ou moins explicitement défini, mais utilisé dès les premiers jours de la préhistoire n'a guère varié. Les méthodes fondamentales sont les mêmes. Les sites sont seulement un peu moins nombreux, un peu plus dépouillés. Les découvertes sensationnelles restent rares, plus rares même que jadis, car chaque nouvelle trouvaille vient se placer

dans un cadre à peu près défini aujourd'hui, qui, sauf peut-être pour les époques très anciennes, ne semble devoir réserver que de bien minimes surprises.

Pourtant, pas à pas, notre connaissance du passé s'affermit et s'approfondit. Des techniques sont reconstituées, des voies commerciales retrouvées, des dates contrôlées. L'image des chasseurs de mammouth ou des constructeurs de palaffites se précise et se nuance. Certes, l'abondance des documents aide à construire un tableau plus cohérent de l'ensemble, mais surtout les vestiges, les microvestiges, sont beaucoup plus variés qu'on ne l'imaginait d'abord et les moyens d'observation et d'étude se sont diversifiés et perfectionnés dans d'étonnantes proportions.

Il y a loin de l'exploration méthodique d'un gisement telle qu'elle se pratique aujourd'hui au pinceau et au grattoir, à la fouille qu'effectuaient il y a cinquante ou soixante ans des terrassiers armés de pelles et de pioches sous la surveillance de quelques graves préhistoriens en veston noir et canotier de paille... La fouille a changé, et plus encore peut-être le travail qui lui succède et qui consiste à examiner les matériaux et les échantillons prélevés et à leur faire dire tout ce qu'ils contiennent. Autour des cadres fondamentaux, et sans en somme en changer la valeur ni la direction, se groupent et s'organisent des séries de recherches qui peuvent au premier abord sembler fort étrangères à la préhistoire.

S'agit-il de reconstituer des procédés techniques ? A côté des études classiques et des observations macroscopiques, on procède à des analyses chimiques, à des observations microscopiques, à des radiographies, et ainsi se trouvent mis en lumière, pour la poterie et la métallurgie en particulier, des aspects jusqu'alors ignorés des techniques préhistoriques. S'agit-il de chercher l'origine de telle perle d'ambre ou de verre, de telle hache polie ? Une analyse chimique permettra de déceler si ce verre a été fondu en Orient ou ailleurs, le prélèvement et l'examen au microscope d'une coupe mince pratiquée dans la masse de la hache polie permettra quelquefois de conclure à son gisement d'origine. Quelque doute surgit-il sur la stratigraphie d'une coupe de lecture difficile ? Un éclairage de lumière de Wood judicieusement disposé en rend la lecture aisée et lève les hésitations. Désire-t-on connaître le milieu dans lequel évoluait l'homme des cavernes ? Les observations paléontologiques et géologiques sont complétées par l'examen de nombreux échantillons prélevés au cours des fouilles et qui fournissent toute une série d'indications relatives à la microfaune et à la flore, donc au climat, contemporains de la couche

archéologique d'où ils proviennent. Ces indications coordonnées aboutiront à des courbes d'évolution des climats, des faunes, des flores, du plus haut intérêt. Quant à la datation des sites qui, jusqu'à ces dernières années ne pouvait être que relative et fort approximative, elle est en train d'accomplir d'extraordinaires progrès dans des voies toute nouvelles et est en passe de révolutionner les méthodes classiques.

Ces progrès ne sont pas tous, loin s'en faut, d'origine récente. L'idée de certains procédés d'observation ou d'étude est contemporaine de l'époque héroïque de la préhistoire. Certains datent des débuts du xxe siècle. D'autres ne sont vieux que de quelques années à peine. Seul leur emploi systématique par certaines équipes de chercheurs, et les travaux de synthèse, encore rares d'ailleurs, qu'ils ont suscités semblent être réellement nouveaux.

Pour comprendre l'intérêt de ces divers procédés et des méthodes qui en forment l'armature, pour mieux dégager la direction et les perspectives qu'ils ouvrent à la préhistoire, il n'est pas dénué d'intérêt de les replacer dans leur développement historique. Ce développement s'est fait en plusieurs étapes. La première est celle du mythe, où les croyances relatives aux origines humaines se fondent sur la révélation et la tradition, et où les vestiges des temps préhistoriques, connus d'ailleurs depuis toujours, sont parfois considérés comme d'origine surnaturelle. Avec la Renaissance, grand bouleversement des notions communément admises : les premières découvertes maritimes au-delà des océans, mettent le monde chrétien en contact avec des populations attardées, utilisant des armes primitives de pierre polie. Pour la première fois la signification des haches trouvées au cours des travaux de terrassement ou à la surface des champs est comprise. Peu à peu on en vient à concevoir une succession des âges de la pierre et du métal. Mais cette succession ne semble pas d'abord en contradiction avec la chronologie biblique ; l'âge de la pierre polie est celui des premiers hommes, celui de la pierre taillée est totalement méconnu, et nul ne soupçonne la très haute antiquité de l'homme. C'est au milieu du xixe siècle que l'on établira, au milieu du scandale de beaucoup, que l'homme est vieux de plusieurs dizaines de milliers d'années et qu'il fut le contemporain du mammouth et de l'ours des cavernes. Dès la seconde moitié du xixe siècle la préhistoire est en possession de ses méthodes fondamentales. Il ne s'agira plus que de les affiner, de perfectionner les moyens d'observation et d'étude déjà connus et d'en inventer de nouveaux.

Naissance de la préhistoire

« Quand l'air s'agite troublé par les vents en furie, quand le tonnerre éclate horrible et que l'éclair en feu foudroie les nuées déchirées, alors cette pierre tombe du haut du Ciel. Son nom grec est celui même de la foudre, puisque c'est dans les lieux seuls où la foudre est tombée que cette pierre, dit-on, se peut rencontrer. De là son nom grec de céraunie, car ce que nous appelons fulmen, les Grecs l'ont nommé Keraunon. Ceux qui la portent chastement ne seront point frappés de la foudre; transportés par un navire sur un fleuve ou sur la mer, ils ne seront pas submergés par la tourmente ou atteints par le feu du ciel. Elle fait gagner les procès, elle fait vaincre dans les batailles, elle procure de doux songes et un agréable sommeil. »[1]

Ce texte est de Marbode, évêque de Rennes à la fin du XIe siècle. Il ne fait que résumer l'opinion de ses contemporains et d'une partie de l'Antiquité classique sur les pierres polies ou taillées que souvent les paysans découvrent dans les champs ravinés par un violent orage.

Les Anciens connaissaient l'existence des haches polies ou des pointes de flèche taillées que l'on trouve parfois à ciel ouvert dans une terre nouvellement labourée par exemple. Ils les appelaient « céraunies ». Ils en avaient remarqué les formes régulières, mais loin de les attribuer à leurs lointains ancêtres, ils croyaient que ces pierres étaient les produits de la foudre du ciel et leur conféraient toutes sortes de propriétés merveilleuses. Lucrèce lui-même qui, il y a deux mille ans, affirmait dans son « De Natura Rerum »[2] que les premiers hommes eurent d'abord pour armes leurs griffes et leurs ongles, puis des branches et des cailloux, ne semble pas avoir fait le rapprochement entre ces pierres tombées du ciel et les plus primitifs des instruments humains.

Ces croyances sur les « pierres de foudre » ont longtemps persisté dans tous les pays. Au XVIIIe siècle, on voit l'ambassadeur de France à Constantinople offrir à l'évêque de Verdun une hache de serpentine polie douée de la propriété merveilleuse de préserver de la gravelle celui qui la porte

1. MARBODE, évêque de Rennes, cité par E. T. HAMY, « Matériaux pour servir à l'Histoire de l'Archéologie préhistorique », *Revue Archéologique*, I, pp. 239-259 et II, pp. 37-48. Voir bibliographie des origines de la préhistoire p. 305.

2. Lucrèce, *De Natura Rerum*, V, 925-1013.

au bras ou sur les reins. A la fin du XIXe siècle, les guérisseuses du gouvernement de Toula (Russie d'Europe) employaient encore dans leur cure des pointes de lance ou de flèche en silex qu'elles appelaient « pierres de tonnerre ». Ces pierres étaient considérées comme un inestimable trésor, et lorsque les femmes ne pouvaient s'en procurer, elles se contentaient de cailloux ordinaires ou de pierres de formes peu communes [1]. Encore aujourd'hui, dans certains coins reculés de nos campagnes on conserve, ou tout au moins on conservait jusque vers la guerre de 1914-1918 les haches polies comme de précieux talismans.

Déchelette [2] rapporte que dans le Morbihan certaines familles de paysans ont en leur possession d'extraordinaires colliers-talismans appelés en breton « gougad-patereu neu » (gorge de grains consacrés). Ces colliers dont l'origine remonte certainement très haut recèlent des propriétés si merveilleuses que leurs possesseurs refusent généralement de s'en dessaisir quel que soit le prix qu'on leur en offre. Ils sont formés de grains jaunes ou blancs dont la plupart sont d'ambre ou de pierre polie.

Et ces croyances ne sont pas spéciales à nos pays. A l'autre extrémité de l'Ancien Monde, au Japon, les paysans attribuent une origine merveilleuse, liée d'ailleurs au culte des Ancêtres, aux outils taillés dans le silex ou l'obsidienne qu'ils trouvent en cultivant leurs champs. Ils les baptisent de noms également merveilleux : hache du dragon bleu, oreille du renard, etc.

Ces superstitions relatives aux pierres de foudre, comme toutes les croyances populaires, furent longues et difficiles à déraciner. A toutes les difficultés répondaient immédiatement les explications correspondantes : c'est ainsi que, lorsque l'on découvrait des pierres de foudre enfouies à une profondeur de plusieurs mètres, on pensait que la violence de la foudre les avait fait pénétrer jusque là. Et comment démontrer l'absurdité de la croyance qui voulait que l'on ne trouvât de ces pierres que là où la foudre était auparavant tombée ? Aucune raison particulière ne semblait d'ailleurs s'élever contre ces hypothèses, et il ne fallut rien moins que le bouleversement de la Renaissance pour que les premiers minéralogistes émettent quelques restrictions discrètes sur l'origine céleste des pierres de foudre. Ils dressent des catalogues, étudient longuement ces pierres étranges et sont frappés par leur ressemblance avec les outils ou les armes de fer.

1. *Société des Antiquaires du Nord*, 1890-95, p. 27.
2. DÉCHELETTE, *Manuel*, I, p. 579.

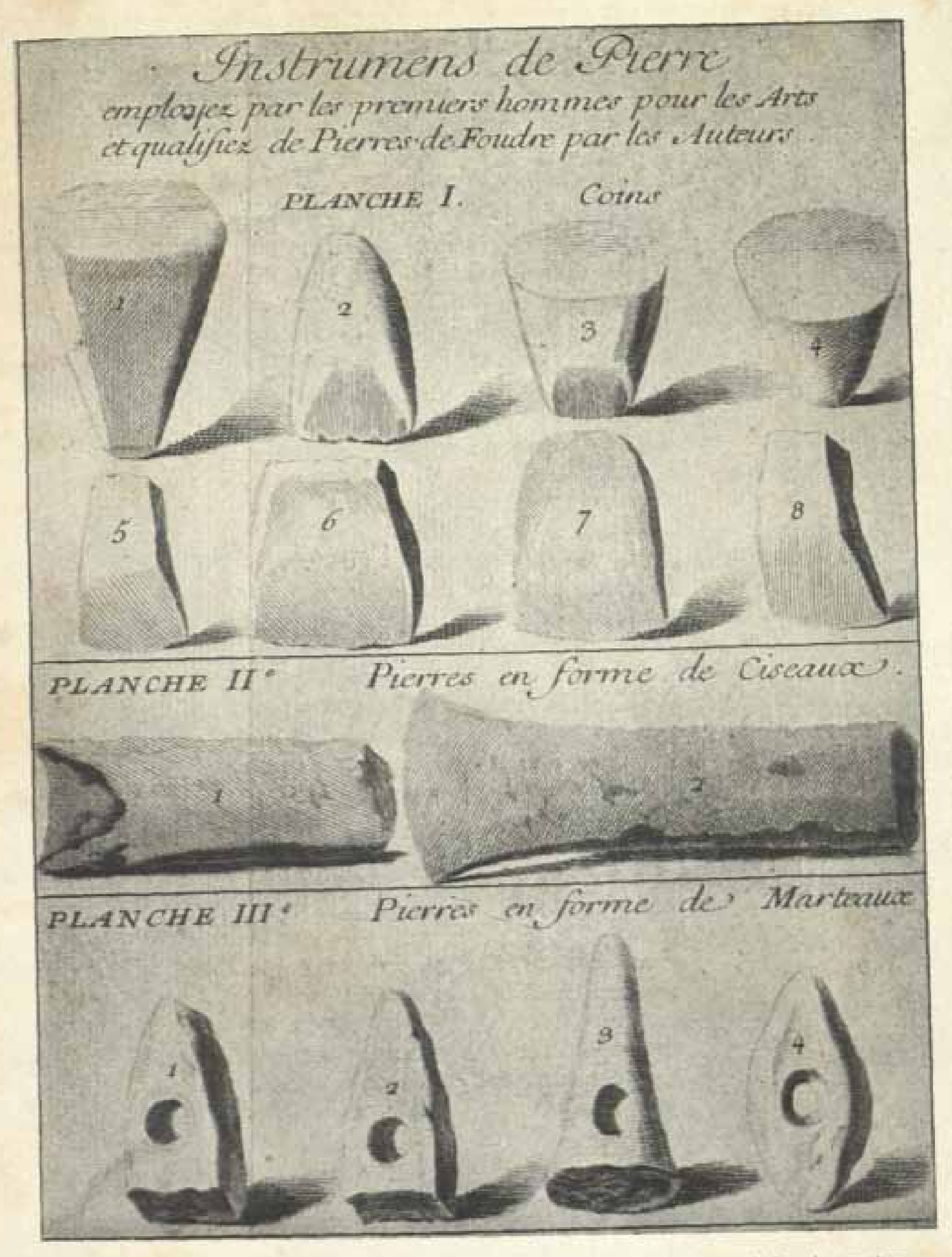


PLANCHE I – *Une des deux planches du mémoire de Mahudel " Les monuments les plus anciens de l'industrie des hommes, et des arts, reconnus dans les pierres de foudre ".*
Mém. de l'Ac. des Lettres, 1740, vol. XII, p. 168. (Photo B.N.)

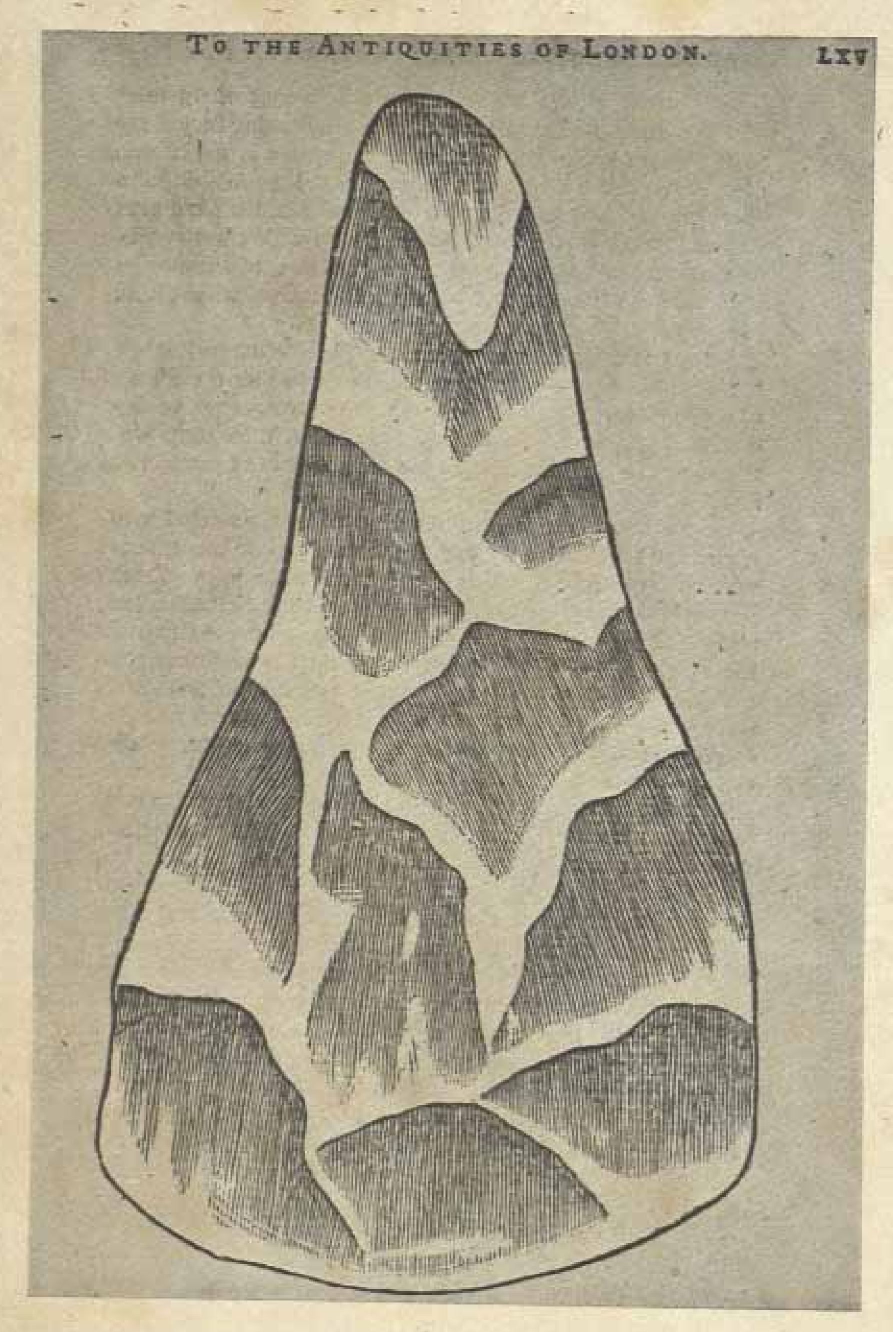


PLANCHE II — *Ce dessin du XVIIIe siècle est peut-être la plus ancienne figuration de bi-face paléolithique. Il représente un silex trouvé en 1715 à proximité du corps d'un « éléphant » dans les graviers de la Wells, et qui fut pris pour une « arme britannique »* Leland's Collecteana, 1770, p. LXIII. (Photo B.N.)

A la fin du XVIe siècle, Michel Mercati, médecin du pape Clément VII, catalogue les céraunies du Vatican et écrit : « La plupart des hommes croient que les céraunies sont produites par la foudre. Ceux qui étudient l'histoire estiment qu'elles ont été détachées par un choc violent de silex très dur et avant que le fer soit en usage pour les folies de la guerre. Car les plus anciens hommes n'ont eu pour couteaux que des éclats de silex. »[1] Ces lignes sont écrites à la fin du XVIe siècle, mais elles ne seront publiées que près de deux siècles plus tard, en 1717, et, en 1636, le savant Bœtius de Boot en est encore à se débattre contre l'opinion traditionnelle : « C'est une croyance si constante que les pierres sont les flèches de la foudre, écrit-il dans son Histoire des Pierres, que celui qui voudrait réfuter cette opinion s'exposerait à passer pour un fou. » Mais remarquant l'analogie des formes de ces pierres avec des coins, des marteaux, etc., il suggère en passant que ces céraunies sont peut-être « des instruments de fer changés en pierre dans la suite des âges... ».[2] Pour lui aussi, ce sont des analogies de forme avec des instruments connus qui lui permettent d'entrevoir la solution du problème.

La question maintenant est posée. Lentement elle va faire son chemin. Ces premières déductions, simples vues de l'esprit, sont bientôt renforcées par les observations faites chez les « sauvages », pratiquement ignorés jusqu'alors. Les grandes découvertes des XVe et XVIe siècles, les premières explorations au cœur des continents agrandissent peu à peu les conceptions que les savants et les érudits peuvent se faire de la terre et des civilisations humaines qu'elle abrite. Les Indiens d'Amérique utilisent des armes de pierre. Des spécimens en sont rapportés dans les capitales d'Europe — et la signification des pierres de foudre qui ornaient les cabinets des collectionneurs s'éclaircit. Michel Mercati qui est décidément un précurseur en ce domaine avait déjà remarqué à propos des céraunies que dans d'autres régions de la Terre le fer n'est pas connu. Mais cette remarque, inédite elle aussi, ne souleva aucun commentaire.

Au cours des XVIIe et XVIIIe siècles se forme et se consolide peu à peu la notion d'une humanité qui aurait précédé les temps historiques. A l'observation des armes de pierre des Indiens d'Amérique s'ajouta bientôt

1. MERCATI, *Metallotheca, opus posthumum*, Rome, 1717, p. 243, cité par BOULE, p. 3.

2. BŒTIUS de BOOT, *Gemmarum et Lapidum Historia*, 1636. Il est curieux de constater à ce sujet qu'une explication analogue fut donnée récemment par des paysans moï de la province de Darlac (Vietnam) à propos de pierres taillées qui constituaient sans doute les éléments d'un litophone préhistorique. G. CONDOMINAS, *Bulletin de l'Ecole Française d'Extrême-Orient*, 1951, 1.

la découverte de très anciennes sépultures. L'archéologie devient à la mode. Herculanum et Pompéi sont découvertes en 1711. Entre 1738 et 1748 des fouilles régulières sont entreprises sur leur emplacement. Il s'agit évidemment de recherches portant sur des époques bien différentes — mais symptomatiques cependant d'une nouvelle orientation des esprits. Il semble d'ailleurs que cet intérêt nouveau ait précédé l'exhumation spectaculaire des villes mortes de Campanie et plonge ses racines jusqu'en plein XVIIe siècle où, les « Parallèles des Anciens et des Modernes » de Charles Perrault nous l'apprennent, les fabricants de fausses antiques pour amateurs de cabinet pullulaient [1].

Quoiqu'il en soit, en 1717, Helwing remarque que les pierres de foudre « s'agitent surtout dans les cerveaux des amis du merveilleux » et les classe parmi les outils et les armes. Quelques années plus tard Antoine de Jussieu présente à l'Académie Royale des Sciences un mémoire devenu fameux « De l'Origine et des Usages de la Pierre de Foudre ». Il a reçu quelques pierres travaillées provenant d'Amérique et du Canada. Leur examen ne lui laisse aucun doute : « Les sauvages de ces pays là se servent à différents usages de pierres à peu près semblables à nos céraunies » et il formule clairement l'hypothèse d'un *âge de la pierre*. « Les peuples de France et d'Allemagne, et des autres pays du Nord, pour ce qui est de la découverte du fer, sont assez semblables à tous les Sauvages d'aujourd'hui et n'avaient pas moins besoin qu'eux, avant l'usage du fer, de couper du bois, de séparer des écorces, de fendre des branches, de tuer des bêtes sauvages, de chasser pour leur nourriture et de se défendre de leurs ennemis, ce qu'ils ne pouvaient guère exécuter qu'avec de tels instruments (de pierre), qui, n'étant pas comme le fer sujets à la rouille, se retrouvent aujourd'hui dans la terre en leur entier et presque avec leur premier poli... ».

Treize ans plus tard, en 1734, Mahudel expose plus clairement encore à l'Académie des Lettres et avec plus de détail les conceptions nouvelles dans un mémoire dont le titre lui-même est fort explicite : « Les Monuments les plus anciens de l'Industrie des Hommes, et des Arts reconnus dans les Pierres de Foudre » [2].

Lentement les idées se précisent. La même année, et devant la même Académie, est lu un nouveau mémoire. Son auteur, le vieux Montfaucon

1. Voir Ch. PICARD, *Les Recherches d'Archéologie antique à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres* (1795-1945). Institut de France, Séance annuelle des Cinq Académies, 25 oct. 1945.

2. MAHUDEL, *Mémoires de l'Académie des Lettres*, vol. XII, pp. 163-169.

y suggère timidement que les armes de bronze sont plus anciennes que celles du fer. S'appuyant sur le témoignage de l'Antiquité, il croit qu'à la pierre a succédé le cuivre, puis le fer. Il faudra d'ailleurs attendre près d'un siècle, pour que, en 1832, après les travaux de Eccard (1750), de Goguet (1758), de Legrand d'Aussy, et de nombreux autres chercheurs, l' « antiquaire » danois Thomsen fasse accepter définitivement la succession des trois âges, celui de la pierre, celui du bronze et celui du fer.

A la fin du XVIIIe siècle, les grands voyages des Bougainville, des Cook, des La Pérouse à travers le monde, les descriptions et les objets qu'ils en rapportent (haches de jade, ornements de coquillages, etc.) exaltent les imaginations. C'est la mode de l'ethnographie comparée. De nouvelles découvertes aussi d'anciennes sépultures affermissent l'hypothèse de civilisations très primitives qui auraient sur notre sol précédé les Romains et peut-être les Gaulois.

Les conquêtes de la nouvelle science ne sont pas négligeables. En trois siècles on est passé d'une méconnaissance complète du problème à la notion précise d'une humanité primitive utilisant des outils de pierre. On a relu les anciens textes, ceux d'Hérodote, de Platon, de Lucrèce, de Pline, de Strabon, de Diodore, dans lesquels il est fait allusion aux civilisations rudimentaires des premiers hommes. On a entrepris quelques fouilles. On a comparé les objets exhumés avec ceux des civilisations nouvellement découvertes.

Partant du pur raisonnement, on s'est peu à peu acheminé vers un embryon de science. C'est du fond de son cabinet de métaux et de fossiles que Michel Mercati dressant le catalogue des céraunies du Vatican y reconnaissait des armes primitives. En 1636, c'est au nom du simple bon sens que Bœtius de Boot fait remarquer l'analogie de forme entre les pierres polies et nos outils usuels. Mais un siècle plus tard, A. de Jussieu se fondait « sur deux ou trois espèces de pierre apportées des îles d'Amérique et du Canada » pour démontrer l'inanité de la croyance aux pierres de foudre, et Mahudel faisait paraître à la fin de son mémoire deux planches plus définitives que de longues explications dont l'une représentait des « instruments de pierres employées par les premiers hommes pour les arts et qualifiées de pierres de foudre par les auteurs » et l'autre des pierres analogues provenant de chez les Sauvages. (pl. I)

Personne encore cependant ne songe que ces découvertes se rapportent à un passé très lointain, beaucoup plus lointain que ne le permet de supposer la chronologie biblique. On compte par siècles, pas même par millé-

naires, et le même Mahudel attribue les premiers instruments de métal « à des hommes du VIIe et du VIIIe siècle du monde » ! On n'a pas encore découvert d'hommes fossiles, ou du moins les découvertes de cet ordre sont douteuses. On n'a jamais rencontré de vestiges humains associés à des restes d'animaux disparus, ou du moins le fait est passé inaperçu. Le XIXe siècle s'ouvre sur ces horizons encore bien étroits.

A la recherche de l'homme fossile

Les découvertes faites jusqu'à cette époque s'appliquaient essentiellement aux périodes appelées plus tard néolithiques et protohistoriques [1], et les savants cherchaient à les adapter aux exigences chronologiques de la tradition et de la Bible. Croyant atteindre les premiers âges de l'humanité dont nul en somme ne soupçonnait l'antiquité, ils ne faisaient guère qu'effleurer les origines de nos civilisations de paysans, d'artisans et de guerriers.

Ce sont des découvertes de silex taillés, alors connus et correctement interprétés, associés à des ossements de grands mammifères disparus qui révélèrent la réelle ancienneté de l'homme, car il était évident pour tous que si l'on trouvait des produits de l'industrie humaine dans les mêmes formations que ces ossements, c'est que l'homme préhistorique en était le contemporain. Des trouvailles paléolithiques certes avaient été faites depuis longtemps, mais elles se confondaient avec les autres, et personne, sauf parfois leur auteur, n'y avait prêté jusqu'alors une attention particulière. Dès 1715 par exemple, un silex taillé très semblable aux « coups de poing » que l'on trouvera plus tard dans la Somme était conservé au British Museum avec l'étiquette suivante : « n. 246. Arme anglaise, trouvée avec une dent d'éléphant, auprès de Grayes Inn Lane.

1. La distinction entre néolithique et paléolithique est de Sir John Lubbock, 1865. « ... on pourrait diviser l'archéologie antehistorique en quatre grandes époques. Premièrement celle du diluvium, époque pendant laquelle l'homme se partageait l'Europe avec le Mammouth, l'Ours des cavernes, le Rhinocéros tichorhinus et autres animaux disparus. Nous pourrions appeler cette époque, l'époque « paléolithique ». Secondement l'âge des pierres polies, époque caractérisée par de belles armes, par des instruments faits de silex et d'autres sortes de pierre, mais pendant laquelle les hommes ne connaissaient aucun métal... Nous pourrions appeler cette époque, l'époque « néolithique ». Troisièmement, l'âge de bronze... Quatrièmement, l'âge de fer... », LUBBOCK, *L'Homme avant l'Histoire*, trad. franç., Paris, 1867, pp. 2-3.

Conyers. C'est un large silex noir qui a reçu la forme d'une pointe de lance. »[1] (pl. II) En Angleterre, également dans des graviers des environs de Londres, en 1797, John Frere avait trouvé des silex taillés à 4 mètres de profondeur, dans des couches renfermant des ossements d'animaux disparus. Il avait pressenti l'importance de sa trouvaille, en avait noté la situation, et l'avait attribuée à une époque très ancienne, « au delà même des limites du monde actuel »[2]. D'autres haches en pierre éclatée, connues au début du XIXe siècle, sont considérées comme des ébauches destinées à être polies. En dehors de quelques découvertes fortuites, on ne songeait d'ailleurs pas à aller chercher des vestiges humains plus profondément que la couche superficielle des terres. Et en 1823 encore le célèbre Cuvier auquel on présentait un squelette humain trouvé dans un limon ancien avec des restes d'animaux disparus, restait sceptique, sans toutefois nier la possibilité d'une existence humaine à une époque si reculée.

Au XVIIIe siècle d'ailleurs, les sciences naturelles et la géologie en particulier, sans laquelle tout progrès dans la connaissance de l'homme quaternaire était impossible, sortent à peine d'une longue enfance. L'étude des fossiles dans ses généralités remontent fort loin, mais ce n'est que dans les années qui suivent la Révolution française, que, profitant d'un horizon débarrassé par ses prédécesseurs, Cuvier pose les fondements de l'anatomie comparée et de la paléontologie. Ses reconstitutions d'animaux fossiles sont célèbres. Rappelons seulement qu'en reconnaissant la présence de marsupiaux dans des terrains jurassiques, il bouleversa l'opinion de ses contemporains qui considéraient que les mammifères étaient tous de création récente. Bientôt la paléontologie végétale se sépare de celle des animaux, qui va elle-même se subdiviser en de nombreuses spécialités.

La géologie de son côté a fait des progrès considérables. C'est au XVIe siècle que l'Anglais George Owen (1552-1613) formule les premières remarques relatives à la stratigraphie en notant l'ordre régulier selon lequel se trouvent disposées les couches superposées des masses minérales constituant l'écorce terrestre. Ces vues singulièrement nouvelles pour l'époque sont reprises un siècle plus tard par un savant génial, Stenon, un des fondateurs de la science géologique et de ses multiples branches (minéralogie, stratigraphie,

1. Sir John Evans, *Les Ages de la Pierre, Instruments, Armes et Ornements de la Grande Bretagne*, trad. franç. Paris, 1878, et *Archeologia*, 1860-62, p. 22.

2. *Archaeologia*, XIII, 1800, p. 204.

cristallographie, etc.)[1]. La géologie bientôt s'attaque au problème ardus des époques de la terre. On a désormais une idée de l'âge relatif des terrains. Au début du XIXe siècle, on dispose d'une méthode soit géologique, soit paléontologique pour la datation relative des vestiges humains quaternaires.

Dans cette atmosphère favorable les découvertes soudain se précipitent. Un peu partout, en Angleterre, en Belgique, en France, des cavernes sont fouillées dans lesquelles voisinent des ossements d'ours, de rennes, d'hyènes et des vestiges d'industries humaines. Parmi les précurseurs, on peut citer les noms, de Tournal (1827, grotte de Bise dans l'Aude), de Schmerling (1833, cavernes des environs de Liège), du Rév. J. Mc. Enery (1825-41, fouilles de Kent's Hole, près de Torquay), de bien d'autres encore. Le sens et la portée de ces découvertes n'échappent généralement pas à ces chercheurs, mais, isolés, ils n'arrivent guère à atteindre, encore moins à convaincre, le monde sceptique des savants. Les contradicteurs sont nombreux, et l'on oppose sans cesse aux découvreurs qu'il s'agit de terrains remaniés ou de sépultures.

C'est vers les années 1840-1850 que la vérité finit par s'imposer. Le nom de Boucher de Perthes est resté lié à cette période féconde. Il est resté le vainqueur individuel de cette grande « fécondation collective »[2]. Quel que soit d'ailleurs le rôle qu'il y a joué, quelle que soit la part de légende qui s'est créée autour de lui, il reste certain que ses recherches systématiques et son opiniâtreté firent émerger la question de la phase des tâtonnements et que c'est à travers ses écrits et son action que se fit la conviction générale. En 1841, continuant et reprenant les recherches de son ami Casimir Picard, Boucher de Perthes annonce la découverte d'un silex grossièrement taillé dans les sables du diluvium ; en 1846, il fait paraître « l'industrie primitive » et en 1847 le premier volume des « Antiquités celtiques et antédiluviennes » dans lequel il démontre après Tournal, Schmerling, Austen, Melleville, Ravin et d'autres l'existence d'un homme antédiluvien et sa contemporanéité avec la période géologique qui a précédé la nôtre. Il rencontra l'incrédulité générale.

1. Pierre Brunet, « Les premiers linéaments de la Science géologique : Agricola, Palissy, George Owen », *Revue d'Histoire des Sciences et de leurs Applications*, janv.-mars 1950, pp. 67-79.

2. Voir à ce sujet la très intéressante étude de L. Aufrère, *Essais sur les premières Découvertes de Boucher de Perthes et les Origines de l'Archéologie primitive*, 1838-1844, Paris, Staude 1936, Epreuves et Synthèses n. 1, 48 p., 4 fig.

Bientôt pourtant l'intérêt se cristallisait autour de cette question. On chercha à vérifier les faits. Les recherches se multiplièrent. En même temps, un peu partout, on compulsait les annales des sociétés savantes et on s'apercevait que des découvertes du même ordre s'étaient déjà plusieurs fois présentées, mais qu'elles étaient passées inaperçues. C'est autour de la mâchoire de Moulin Quignon découverte en 1863 dans une sablière des environs d'Abbeville que parut un moment se faire l'unanimité générale. La trouvaille de cette demi mâchoire inférieure humaine fit grand bruit, car l'homme fossile tant cherché jusqu'ici restait introuvable en dépit des abondants restes de son industrie exhumés un peu partout et en particulier à Aurignac par Lartet. La nouvelle donc fit grand bruit. Une commission d'enquête composée de savants anglais et français se réunit à Abbeville sous la présidence de Milne-Edwards et reconnut l'authenticité de la découverte, pour revenir d'ailleurs peu après sur cette première déclaration. La trouvaille qui un instant avait pu sembler décisive fournissait des armes aux adversaires des idées nouvelles.

La cause de l'homme fosile pourtant faisait des progrès, mais soulevant l'intérêt du public et des savants, elle agitait et réveillait aussi bien des querelles philosophiques et religieuses. Les uns, les audacieux, prirent sans hésitation parti pour Boucher de Perthes. Les autres, plus nombreux au début, s'indignèrent et se moquèrent. Les périodiques de l'époque sont remplis des échos de cette lutte. Des membres de l'Institut continuaient à défendre la vieille conception du déluge et la chronologie biblique, ayant à leur tête le plus connu des géologues français, Elie de Beaumont. De multiples incidents naquirent entre les deux clans, et les polémiques souvent manquèrent de courtoisie, qui, à près d'un siècle de là, ont pris une saveur pittoresque et désuète. Citons l'une d'elles au hasard. En 1865, alors que l'on venait de découvrir les ateliers du Grand Pressigny et leurs innombrables « mottes de beurre », Elie de Beaumont, dans une communication à l'Académie des Sciences déclara que ces soi-disant nuclei étaient tout simplement des résidus de fabrication de pierres à fusil ou à pistolet, et il concluait : « Voilà que déjà des observateurs consciencieux d'un bout à l'autre des anciennes Gaules travaillent à rétablir la voie des saines doctrines que l'amour immodéré du nouveau avait obstruée. »[1]

Isolé, ridiculisé par ses adversaires au début, puis soutenu par un nombre de plus en plus grand d'authentiques savants, Boucher de Perthes a posé

1. *Matériaux*, I, pp. 368-374.

les bases essentielles de la science et de la méthode préhistorique. Avant lui déjà, les premiers fouilleurs, et Schmerling en particulier, avaient montré la voie de l'utilisation de la paléontologie en préhistoire ; Casimir Picard, dès 1836, avait distingué l'industrie à lames de l'industrie à bifaces, recherché la façon dont ces outils avaient pu être obtenus, et joint pour la première fois les notions de géologie, de stratigraphie, de typologie [1]. Boucher de Perthes connait ces travaux, et il sait en tirer la leçon. Ses Antiquités sont le premier Manuel de Préhistoire, et on reste surpris à la lecture de cet ouvrage par l'intelligence de l'auteur, l'étonnante justesse de ses observations et de ses conclusions, souvent perdues il faut le dire, au milieu de théories périmées et quelquefois extravagantes. Il démontre, et c'était l'essentiel, l'antiquité de l'homme, mais il pose également le problème de la succession des civilisations et des moyens de les distinguer soit par l'étude des types d'objets, soit par celle de leur position relative dans le sol. S'il n'emploie pas encore le mot de stratigraphie, il en pose le principe avec une parfaite clarté et en signale les pièges qu'elle peut tendre : « Que voulons-nous démontrer ? L'ancienneté de la population du sol. Sur quoi établissons-nous notre démonstration ? Sur l'antiquité des objets qu'on y trouve. A quoi mesurons nous cette antiquité ? A la matière, à l'œuvre, et surtout à la position subterranée des objets. Dès lors nous admettons une sorte d'échelle de vie, une superposition de couches formées par les débris des générations, et nous cherchons dans chacune de ces couches des indices de l'histoire des générations... Les couches les plus profondes nous offriront ainsi les populations les plus vieilles ; mais si nous confondons ces couches, si nous ne les étudions pas en conscience, ou bien si nous les étudions sans tenir compte de la nature ou des accidents du terrain, loin d'éclaircir le sujet, nous le rejetons dans le chaos, parce que de la confusion des éléments nait celle des idées et l'incohérence de l'ensemble. « Et ailleurs » c'est donc la position comparative (des objets) qu'on doit étudier ; c'est la superposition des couches sur lesquelles ils reposent ; c'est la nature de ces couches et des éléments qui les composent ; c'est enfin la cendre des morts qu'il faut analyser. » [2] Si l'on ajoute à cela de nombreuses indications sur la taille des silex, leur patine, leurs formes, sur les précautions à prendre au cours

1. L. Aufrère, ouvr. cité, p. 30.

2. *Antiquités Celtiques et Antédiluviennes*, 1847, I, chap. I, Du sol antique et de son exploration, p. 34 et chap. IX, Des gisements antiques et des conséquences qu'on peut tirer de leur exploration, p. 164.

d'une fouille, on est déjà en présence d'une méthode préhistorique cohérente.

L'élan donné maintenant ne peut plus être arrêté. Les fouilles systématiques se multiplient, et vers 1865 la préhistoire toute jeune apparaît en possession de ses cadres fondamentaux et d'une méthode déjà constituée. Plusieurs ouvrages paraissent en France et en Angleterre entre 1860 et 1865 qui résument nos connaissances sur l'homme fossile, ainsi que des comptes rendus de fouilles et de nombreux articles de vulgarisation à l'usage du grand public dont l'illustration parfois est des plus amusantes. En 1864, c'est la fondation d'une revue spécialisée, les Matériaux pour l'Histoire de l'Homme ; en 1867 c'est le premier Congrès International d'Archéologie et d'Anthropologie Préhistorique. Les temps héroïques sont terminés.

Nouveaux aspects de la préhistoire

Une longue période s'ouvre alors qui se prolonge par beaucoup de ses aspects jusqu'à notre époque et au cours de laquelle la préhistoire cherche à préciser et à approfondir ses nouvelles conquêtes. Déjà plusieurs tendances se font jour. Certains sont davantages intéressés par les problèmes géologiques, les autres par les problèmes paléontologiques, les autres, les préhistoriens purs, pourrait-on dire, par l'étude des industries. Ces méthodes d'ailleurs se combinent et se recoupent. La fouille d'une part, l'étude stratigraphique des gisements de l'autre forment les points de rencontre de ces différents points de vue dont les divergences s'expriment par la variété des systèmes de classification adoptée.

Une tache s'impose en effet. Il faut introduire un classement parmi les faits connus, chaque jour plus nombreux. Les uns à la suite de Lartet [1] considérant que l'apparition des mammifères de la dernière époque géologique a été, de même que leur extinction ou leur émigration, successive et non simultanée, proposent de déterminer l'ordre dans lequel les espèces les plus caractéristiques ont disparu et de s'en servir pour fixer l'âge re-

1. LARTET, « Nouvelles Recherches sur la Coexistence de l'Homme et des grands Mammifères fossiles réputés caractéristiques de la dernière Période géologique », *Annales des Sciences Naturelles*, 4e série, t. XV, et extraits dans Ch. LYELL, *L'Ancienneté de l'Homme*, appendice, 1864, pp. 196-246. — Voir aussi E. T. HAMY, *Précis de Paléontologie humaine*, Paris, 1870.

latif des stations où l'homme a dû évidemment être en rapport avec quelques unes d'entre elles. « Nous aurions ainsi pour la période de l'humanité primitive, l'âge du Grand Ours des cavernes, l'âge de l'Eléphant et du Rhinocéros, l'âge du Renne et l'âge de l'Aurochs... » Au contraire de la paléontologie animale, la paléontologie humaine, le mot a été prononcé pour la première fois en 1853 par Serres devant l'Académie des Sciences, progresse bien lentement au début, faute de matériaux. Les découvertes d'ossements d'hommes fossiles sont beaucoup plus rares que celles des produits de son industrie, et surtout les fausses découvertes du début du siècle ont rendu méfiant le monde scientifique. Tout ossement humain fossile est, pendant longtemps, considéré *a priori* comme suspect [1].

Aux classifications paléontologiques s'opposent ou se superposent dès le début des classifications fondées sur les types d'industries. Celle qui est proposée en 1869 par G. de Mortillet rapidement s'impose comme la plus adéquate. Pour simplifier il a adopté l'usage des géologues et a désigné chaque époque par le nom de la localité la mieux connue ou la plus caractéristique. L'usage s'en est continué jusqu'à nous, et la classification actuelle dérive directement de celle de Mortillet avec ses avantages et ses inconvénients, dont le moindre n'est pas celui de viser à l'universalité et de vouloir s'appliquer à tous les pays et non à des régions déterminées, ce qui, jusqu'à nos jours, fut cause de bien des confusions et de bien des erreurs.

D'autres chercheurs sous l'impulsion du grand géologue anglais, Ch. Lyell, s'attachent surtout au point de vue géologique, en étudiant les phénomènes glaciaires, les variations du climat, la chronologie des dépôts marins, le creusement des vallées, la formation des terrasses fluviatiles, etc. On cherche à établir les causes et les successions de ces phénomènes et à dater l'homme par rapport à eux. Quelques uns baptisent cette nouvelle science « archéogéologie ».

Généralement d'ailleurs ces différents types de classification sont employés simultanément [2]. On en dresse des tableaux synchroniques, et géologie, paléontologie, archéologie concourent à former une image de plus en plus précise de l'homme préhistorique, de ses industries, de son milieu, de son évolution dans le temps. Cet ensemble de disciplines forment dès

1. Pour la question des origines de la paléontologie humaine, voir surtout M. Boule, *Les Hommes fossiles*, 3e édit. par H. V. Vallois, 1946, chap. I et passim.

2. Voir par exemple E. C. Cartailhac, *La France Préhistorique d'après les Sépultures et les Monuments*, Paris. 1889, et surtout Boule, « Essai de paléontologie stratigraphique de l'homme », *Revue d'Anthropologie*, 1888 et 1889.

la fin du XIXe siècle un tout organique et cohérent dont les méthodes de base n'ont guère varié depuis : la stratigraphie fournit les éléments d'une chronologie relative ; la typologie, et l'on pourrait aussi bien appliquer ce terme aux industries qu'aux restes organiques, étudie l'évolution des types dans ce cadre chronologique ; l'ethnographie permet l'interprétation des faits .Si l'on ajoute à ce schéma l'importance sans cesse grandissante prise par les questions de répartition géographique qui fixent un cadre spatial aux civilisations préhistoriques et essaient de reconstituer le cheminement des migrations, du commerce, des influences ; si l'on y ajoute aussi quelques essais récents et encore rares d'application de la méthode statistique soit à l'étude des industries, soit à celle des faunes, il semble que la méthode préhistorique n'ait guère varié depuis une cinquantaine d'années. C'est qu'elle a sans doute atteint cet état d'équilibre où se trouvent les autres sciences historiques qui, disposant d'un cadre géographique et chronologique plus ou moins précis, y disposent les faits de civilisation qu'elles découvrent jusqu'à pouvoir tracer un tableau cohérent de l'ensemble ; et cette immense classification, de plus en plus détaillée, de plus en plus adéquate, prend vie par les essais d'interprétation et de compréhension qui s'y mêlent ou s'y superposent.

Il est trop tôt pour dire si les essais récents d'application de méthodes statistiques à cette reconstitution du passé sont voués à un échec ou destinés à changer l'orientation future des recherches préhistoriques. Va-t-on chiffrer les phénomènes de l'évolution humaine, biologique et culturelle, et peut-être réussir à en dégager les lois ? Des essais de telle sorte ont déjà donné des résultats convaincants en paléontologie [1]. Seule la rareté des vestiges anthropologiques préhistoriques empêche d'y appliquer les mêmes méthodes.

Mais il y a loin d'une évolution biologique à une évolution typologique ou culturelle. Dans le domaine des industries, la réussite de tentatives d'application de méthodes mathématiques est liée à la réussite de tentatives analogues dans d'autres branches des sciences humaines, à moins pourtant que le très grand éloignement des faits préhistoriques, leurs durées immenses, l'amplitude des phénomènes observés ne constituent des conditions particulières de succès. En effaçant les aspérités des faits accidentels ou des actions individuelles, ces conditions permettraient

1. Voir par exemple G. G. Simpson, *Rythmes et Modalité de l'Evolution*, tr. française par P. de Saint-Seine, Albin Michel, Paris, 1950, 354 p., 36 fig., Bibliographie.

alors de formuler des lois statistiques concernant les phénomènes préhistoriques de l'évolution humaine, lois qui, pour les périodes plus récentes seraient dissimulés par la complexité et la richesse des faits d'une part, par leur peu d'amplitude de l'autre.

De récents essais ont été faits pour rationnaliser les recherches typologiques et pour les chiffrer. On peut en effet définir un niveau archéologique par des graphiques représentant les différents types ou les différentes techniques qui s'y trouvent représentés. On pose comme postulat qu'une civilisation est caractérisée par ses techniques et ses types d'outils, et deux graphiques identiques, provenant de gisements différents expriment des industries correspondantes. Sous cette forme la méthode des « profils technico-typologiques »[1] est certainement valable et probablement utile. Elle représente en somme une amélioration du procédé classique du typologue qui devant deux lots de silex, décide en les comparant s'ils appartiennent ou non au même groupe d'industries. Elle substitue à une appréciation subjective et à des critères quelquefois imprécis. un essai de jugement objectif fondé sur des critères nettement définis L'expérience seule dira si les résultats justifient les complications et les longueurs que peut entraîner l'élaboration des graphiques.

Ainsi ce rapide coup d'œil sur l'évolution des méthodes de la préhistoire montre qu'elles n'ont guère varié. Il y a loin pourtant de la préhistoire des environs de 1900 à celle que l'on pratique, ou devrait pratiquer, dans les laboratoires de 1950. Pas de bouleversement d'ensemble, mais le perfectionnement et la multiplication des procédés d'observation, d'identification, d'analyse, d'enregistrement. Notre connaissance du passé s'est renouvelée, précisée, diversifiée dans presque toutes les directions sous la double influence des progrès des sciences exactes et de leurs techniques et du développement des sciences humaines. Les premières l'ont conduite à des études de détail de plus en plus minutieuses et spécialisées, tandis que les secondes en revanche la poussaient dans la voie des synthèses et des études d'ensemble.

Les premiers fouilleurs nous l'avons vu, avaient tout simplement pioché le sol à la recherche des plus belles pièces, rejetant le reste avec les déblais dans lesquels on retrouve souvent pêle-mêle des œuvres d'art passées

1. Fr. Bordes, « Principes d'une méthode d'étude des techniques de débitage et de la typologie du Paléolithique Ancien et Moyen », *L'Anthropologie*, t. LIV, n. 1-2, mai 1950, pp. 19-34, 3 fig. Voir aussi la bibliographie sommaire donnée à l'appendice p. 306-307. Statistique et mensurations appliquées à l'outillage préhistorique.

inaperçues, des pièces, brisées ou mal venues, des déchets de taille, des pierres de foyer, des fragments d'os, des charbons de bois, etc. Des esprits avisés, certes avaient dès le début recommandé de recueillir tout ce qui peut être recueilli « Ce qui reste à chercher, disait Boucher de Perthes parmi de nombreux autres conseils de même ordre, ce sont des pierres... et en même temps des ossements et jusqu'aux fragments des bois, quelque peu d'intérêt que ces reliques semblent d'abord présenter. »[1] Mais ces conseils ne sont guère suivis ; pour les fouilleurs du siècle dernier les vestiges préhistoriques se réduisent à des objets et à des ossements, à quelques rares débris végétaux aussi. Ce n'est que peu à peu qu'on a compris que le sol contenait beaucoup plus qu'il n'avait semblé tout d'abord et que de la plupart des vestiges on pouvait tirer des renseignements autrefois insoupçonnés. A la recherche du macrovestige s'ajoute celle du microvestige et à son étude morphologique son étude microscopique.

La fouille n'est plus la recherche fiévreuse de l'objet, de l'ossement ou de la couche, mais un essai de faire exprimer à un gisement tout ce qu'il contient. On apprend à fouiller plus minutieusement et à étudier d'une façon plus complète le produit des fouilles. Sur le chantier les moindres traces sont notées, relevées sur plan. Des échantillons divers sont pris à tous les niveaux. On subdivise jusqu'à la limite du possible les niveaux stratigraphiques. L'équipe de fouilleurs dispose d'un matériel de campagne (microscope, etc.) qui lui permet d'effectuer sur place quelques déterminations élémentaires. Au laboratoire, les échantillons de sol, les objets recueillis sont répartis entre divers spécialistes. Des analyses chimiques, des observations microscopiques, des examens de toutes sortes se superposent aux études typologiques, les rajeunissent et les transforment.

La conséquence immédiate de ce développement des techniques est un inévitable éparpillement de la recherche. Aucun préhistorien ne peut pratiquer à la fois toutes les études possibles, et pratiquement, s'il est isolé, il a le choix entre négliger ces nouveaux procédés d'investigation, ou se spécialiser dans l'un d'eux. Il ne peut à la fois en plus de sa culture préhistorique être chimiste (analyse des ossements, des sédiments, des vestiges divers), géologue, paléontologue, botaniste (étude des graines, des charbons de bois et surtout des pollens), photographe, physicien, dessinateur. Les uns choisissent la spécialisation, et de même qu'il y avait les spécialistes du néolithique et ceux du paléolithique, les spécia-

1. *Antiquités Celtiques et Antédiluviennes*, I p. 621, note 50.

listes du paléolithique supérieur et ceux du paléolithique ancien, il y a maintenant les spécialistes des pollens, ceux de la microfaune, de la granulométrie et des analyses de sédiments, des études pétrographiques, de la poterie, du métal, etc. La subdivision va même plus loin, et parmi les pollenanalystes par exemple il y en est qui se cantonnent dans l'étude des pollens de conifères, d'autres dans l'étude de pollens provenant d'une région déterminée, etc.

Mais corrélativement à cette spécialisation qui est d'ailleurs la condition nécessaire d'un travail scientifique sérieux, se fait jour une tendance opposée qui aux études de détail tend de plus en plus à substituer des études d'ensemble. Sous l'influence sans doute du développement des sciences humaines et plus particulièrement de la géographie humaine, les recherches surtout classificatrices du début, d'ailleurs indispensables et sur lesquelles restent fondée toute la préhistoire, passent au second rang. A côté des études typologiques prennent place, de plus en plus nombreux, des essais de reconstitution du milieu climatiques, végétal et animal, des études sur la répartition des groupes humains, leur rapport avec le milieu, le jeu des influences du commerce, leurs techniques, leurs modes de vie [1]. Il ne s'agit que d'une tendance, mais qui semble se préciser. La préhistoire pas plus que l'archéologie ne veut être « un cimetière d'objets les plus divers » [2], mais un essai de reconstitution intégral du passé humain.

Cette double démarche de la recherche préhistorique vers des travaux techniques sans cesse plus nombreux et plus approfondis, et vers des études de synthèse plus vastes et plus complètes, n'est actuellement qu'à l'état d'ébauche. Sa pleine réalisation semble souhaitable. Une seule voie lui est ouverte, celui du travail en équipe [3]. Il faut à la fois plus de

1. On trouvera un excellent exemple d'essai de géographie humaine préhistorique dans Sir Cyril Fox, *The Personality of Britain, its influence on Inhabitant and Invader in prehistoric and early historic Times*, 4e édition, Cardiff, 1947, 99 p., nombreuses cartes de répartition.

2. R. Lantier, Académie des Inscriptions et Belles Lettres, séance du 21 novembre 1947, *Tendances nouvelles en Archéologie*, p. 11

3. Les publications d'ordre archéologique groupant des recherches relevant de plusieurs disciplines se sont multipliées ces dernières années. On peut citer à titre d'exemple parmi les plus récentes et les meilleures :

Johnson Frederick, *The Boylston Street Fishweir*, I et II Papers of the Robert S. Peabody Foundation for Archaeology, vol. 2 et 4, 1942 et 1949. I, 212 p., 14 pl. 16 fig. carte, dépl., 13 tableaux. II, 133 p., 14 pl., 15 fig., 1 carte dépl., 17 tableaux. (Collaboration de disciplines diverses appliquées à l'étude d'un seul site : Etudes des sédiments, des Foraminifères, des Mollusques, des Diatomées, des pollens, de l'état de conservation des bois ; étude géologique et géographique, etc.).

spécialistes et plus d'esprits doués pour ces travaux de synthèses. Ils n'ont de sens les uns que par les autres. Ils trouveront leur pleine signification au sein de petites équipes qui n'ont besoin ni d'être très nombreuses, ni d'être munies d'un matériel extraordinaire, mais plutôt d'une sérieuse formation scientifique et d'esprit de coopération.[1]

1. Voir appendice p. 305-307

PREMIÈRE PARTIE

PROBLÈMES DE DÉTECTION

INTRODUCTION A LA PREMIÈRE PARTIE

Découvertes fortuites et recherches méthodiques

Les trouvailles préhistoriques isolées n'ont d'intérêt que s'il s'agit de pièces exceptionnelles ou datant de périodes sur lesquelles nous ne possédons encore que des données fragmentaires. L'essentiel des collections et des documents proviennent de gisements systématiquement exploités, endroits fréquentés jadis par les hommes préhistoriques ou dans lesquels ils déposaient leurs morts.

Or, il n'est pas toujours facile de découvrir ces endroits privilégiés. Beaucoup sont enfouis sous une épaisse couche de terre et ne présentent aucun indice particulier. Et bien des découvertes, aujourd'hui comme hier, ne sont dues qu'au hasard.

Il arrive souvent que des ouvriers occupés au percement de routes ou de voies ferrés, ou à l'extraction de graviers, de sable, d'argile, de tourbe, etc., mettent a jour des ossements fossiles ou des restes d'industries humaine, et en avertissent les autorités locales. Il s'agit généralement de trouvailles isolées présentant d'autant moins d'intérêt que lorsqu'elles sont mises entre les mains des spécialistes, personne n'est plus capable d'indiquer l'endroit exact, ni les conditions de leur découverte. Des pièces fort intéressantes peuvent être trouvées ainsi, mais elles suscitent généralement alors d'interminables discussions sur leur âge et leur authenticité. On peut citer l'exemple de la mâchoire fameuse de Moulin Quignon découverte près d'Abbeville par des ouvriers qui provoqua de violentes discussions, et qui fit croire à Boucher de Perthes qu'il allait enfin pouvoir démontrer à ses contradicteurs alertés, la très haute antiquité de l'homme. Bien des années plus tard. en 1948[1], la mâchoire fut soumise à l'analyse chimique et se révéla d'époque récente !

Boucher de Perthes raconte que, au début de ses recherches, il remettait de fortes récompenses aux ouvriers qui lui signalaient des découvertes intéressantes. Souvent il passait de longues journées sur le bord des tranchées à guetter l'apparition des pièces. Ceci joint à quelques fouilles entreprises à ses frais sur les mêmes chantiers au fur et à mesure que certains emplacements se révélaient féconds, lui permit de constituer une importante collection.

Mais nous ne sommes plus au temps de Boucher de Perthes et aucun préhistorien actuel ne dispose d'assez de loisirs et d'argent pour utiliser une telle méthode de prospection. Pratiquement des trouvailles faites de cette façon n'ont d'intérêt que pour les époques très anciennes pour lesquelles les gisements sont rares ou inexis-

1. Voir chap. VIII, Méthode de datation par le fluor, p. 199-203.

tants et dont les vestiges sont dispersés sur des aires immenses, impossibles à fouiller. Pour obtenir des bi-faces du Paléolithique Ancien de la Somme ou de la Seine Inférieure, il n'est guère d'autre moyen que d'expliquer aux ouvriers des carrières et à leur contremaître ce que l'on recherche... et de passer ramasser leur récolte, quelquefois hétéroclite, tous les 5 ou 6 mois.

Les gisements découverts au cours de grands travaux d'intérêt public ou privé sont souvent endommagés par leurs découvreurs — souvent les nécessités de l'exploitation interdisent de suspendre les travaux et l'amateur local en est réduit à voir sortir pêle-mêle de l'excavation des ossements et des industries pouvant provenir de plusieurs couches différentes, et à trier les déblais. Dans un ordre de recherches un peu différent, il arrive que des travaux de dragage mettent à jour des vestiges de l'industrie des palaffites. Au cours de l'été 1948 dans le lac de Neuchâtel, les ossements, des débris végétaux, des outils divers étaient extraits de cette façon du fond du lac. Une équipe de fouilleurs qui travaillaient alors dans la célèbre station d'Auvernier fut alertée. Et pendant 48 heures on put voir quelques jeunes gens demi nus sur le pont de la drague, couverts des pieds à la tête d'une vase grisâtre, s'efforçant, souvent en vain, de distinguer dans le flot de vase, d'eau et de graviers que l'on rejetait de l'autre côté du chenal, des bois de cervidés, des haches polies, des fragments de vases, des meules, et jusqu'à des pommes de pin. La récolte fut fructueuse — mais d'aucun intérêt !

Souvent d'ailleurs les entreprises privées ou publiques montrent une très grande compréhension et font suspendre ou ralentir les travaux au mépris de leurs propres intérêts. Il y a peu de temps par exemple on découvrit dans la cour d'une usine d'Argenteuil qui entreprenait des travaux d'agrandissement, une grande quantité d'ossements humains. La direction fut avertie, des spécialistes demandés. Il s'agissait d'une importante allée couverte encore en bon état de conservation. Non seulement les travaux furent interrompus, mais la direction de l'usine mit plusieurs de ses hommes à la disposition d'une petite équipe de fouilleurs qui put ainsi explorer soigneusement l'allée et en sauver tout ce qui présentait un quelconque intérêt.

Il est évident que de telles découvertes entièrement soumises au hasard des exigences économiques ne constituent qu'un pis aller et ne forment qu'une partie minime de l'ensemble des découvertes préhistoriques scientifiquement utilisables. Pour le Préhistorien professionnel il ne s'agit dans tous ces cas que de sauver ce qui peut être sauvé. Quant à ses propres fouilles, il lui faut en provoquer la découverte.

Pour les régions riches en gisements, le problème est peut-être moins difficile qu'on ne le pourrait croire. Certains emplacements sont par leur situation et leur exposition nettement privilégiés. De l'eau, du soleil, un coin abrité à la fois du vent, et des inondations, une falaise formant plus ou moins surplomb, et le prospecteur a bien des chances, après quelques sondages, de tomber sur une couche archéologique. Mais dans les régions de moindre densité, et surtout pour les sites de plein air, de plateau, de plaine, ou de tourbière, non déterminés par une falaise, une terrasse, un repli quelconque de terrain ou par un ancien rivage, le choix d'un emplacement est beaucoup plus difficile, souvent impossible. Même l'interprétation géologique et géographique du terrain (études des terrasses, de la nature du sol, etc.) ne peut donner que des indices. Elle permet souvent de dire qu'un site d'âge ou de nature déterminés ne peut pas se trouver à tel ou tel emplacement, ou qu'il a des

chances de s'y trouver, mais jamais de conclure avec certitude qu'il s'y trouve effectivement.

Jusque vers la guerre de 1914, toutes les découvertes étaient ainsi dues soit au hasard, soit à un certain flair du chercheur, et un manuel aussi complet que celui de Déchelette ne fait aucune allusion à aucun moyen plus systématique de déterminer l'emplacement des fouilles. Vers cette époque, les progrès réalisés par l'aviation, puis le perfectionnement de certaines méthodes de prospection géophysique ou autres ont donné lieu à une série d'essais et d'expériences dont certains se sont révélés très fructueux.

On ne se contente plus aujourd'hui de la prospection classique faite en se promenant et en observant la nature des lieux. Le préhistorien est devenu aviateur pour essayer de là-haut de découvrir ce qui est invisible, ou inaccessible, du sol. Il revêt parfois l'habit de scaphandrier pour retrouver au fond des mers des secrets immergés depuis des siècles ou des millénaires. L'application de la photographie aérienne en archéologie a pris une très grande extension depuis quelques années ; elle revêt des aspects extrêmement divers ; un chapitre spécial lui sera consacré [1]. L'archéologie sous-marine est plus nouvelle et peu exploitée ; la mise au point en 1946 d'un nouveau scaphandre autonome et le « dévasement » spectaculaire au cours de l'été 1950 de la grande barque romaine que l'on avait déjà repérée depuis quelques années au large d'Anthéor donneront peut-être un nouvel essor à ce genre fort sportif de recherches.

Qu'il s'agisse d'aviation ou d'archéologie sous-marine, ce sont toujours des moyens d'*observation* directe qui entrent en jeu. Observation plus aigue, selon des angles de vue différents, d'objets, de structures ou de signes habituellement inaperçus, mais simple observation visuelle cependant. On a essayé récemment de rationaliser la prospection des sites en mettant au point un certain nombre de méthodes permettant de déterminer avec précision l'emplacement d'anciens aménagements humains, dont aucun vestige, *aucune trace visible* ne sont marqués à la surface du sol. Des essais ont été tentés dans des directions diverses, utilisant les disciplines les plus imprévues. Dans tous les cas il s'agit de déceler des *perturbations provoquées dans le sol ou le sous-sol par une ancienne action humaine.* Ces perturbations peuvent être causées soit par des variations physiques ou chimiques du sol lui-même, soit par la présence d'objets présentant des propriétés particulières, comme les objets métalliques par exemple que repère le détecteur électromagnétique. Les méthodes de détection permettent donc de découvrir soit des *gisements*, soit des *objets*.

Malheureusement aucune recherche systématique portant sur toutes les méthodes possibles de détection n'a jamais été faite. Elle demanderait en effet un effort d'organisation et de coordination, bien difficile à réaliser. Il y faudrait une liaison avec les travaux des géophysiciens en particulier, ce qui serait peut-être réalisable en orientant des étudiants de cette science en quête d'un sujet de thèse et intéressés par les problèmes de la préhistoire. Jusqu'ici on s'est contenté d'utiliser en les adaptant des méthodes déjà mises au point dans des buts tout à fait différents.

1. Voir chapitre I.

La détection des gisements

Un gisement préhistorique outre les objets et vestiges de toutes tailles qu'il contient est caractérisé par une structure physique ou chimique différente de celle des sols avoisinants. Analyse chimique, prospection physique, telles sont les deux directions dans lesquelles depuis quelques années on essaie de rationnaliser la prospection préhistorique.

A l'emplacement d'un gisement le mode d'accumulation des couches, l'existence d'anciennes fosses ou cavités, leur obstruction ou leur remplissage, l'existence de diverses structures enfouies donnent au sous-sol une constitution physique (densité et nature des matériaux, humidité, etc.) différente de celle des couches naturelles avoisinantes. Ce sont ces variations de structure qu'il s'agit de mettre en évidence.

Les essais tentés dans cette voie sont directement tributaires de la géophysique, qui, en raison de son importance économique, dispose de moyens extrêmement perfectionnés. La géophysique[1] se propose, en effectuant des mesures physiques à la surface du sol soit de découvrir des gîtes miniers ou des gisements de pétrole, soit d'étudier la structure du sous-sol pour l'exécution de certains grands travaux (barrages, tunnels, etc.). C'est cette seconde série de recherches qui présentent avec les préoccupations des fouilleurs les rapports les plus proches. Un sous-sol homogène se traduit en surface par des propriétés physiques régulières, un sous-sol hétérogène, par des anomalies dans la répartition de certaines de ces propriétés. Théoriquement les anomalies pourront être aussi bien enregistrées, que cette hétérogénéité soit dûe à des causes géologiques naturelles ou à une ancienne action de l'homme. Mais en fait l'échelle à laquelle travaille habituellement le géophysicien est très différente de celle du préhistorien, et c'est surtout pour cette raison que les méthodes ne sont pas toujours transposables.

Les méthodes de prospection géophysiques sont extrêmement variées. Les plus couramment utilisées sont les méthodes magnétiques fondées sur l'étude des anomalies magnétiques dues à l'inégale aimantation des roches ou minerais, les méthodes gravimétriques fondées sur des anomalies de la pesanteur dues à une hétérogénéité des roches constituant le sous-sol, les méthodes électriques fondées sur des anomalies électriques dues à l'inégale résistivité du sous-sol, les méthodes séismiques qui étudient les variations de la vitesse de propagation des ondes provoquées par un petit séisme artificiel. Moins couramment utilisées sont les méthodes géochimiques, les méthodes géobiologiques, la prospection radioactive et l'étude géothermique des couches superficielles.

Il est évident que parmi toutes ces méthodes beaucoup resteront toujours inutilisables en préhistoire, soit parce que leurs objectifs sont différents, soit pour des raisons d'échelle, soit parce qu'elles impliquent la mise en œuvre de moyens trop compliqués, disproportionnés avec l'importance dû but à atteindre... et la réalisa-

1. Louis Cagniard, *La Prospection géophysique*, coll. La Science vivanse, PUF, Paris, 1950, 203 p., 23 fig., VIII pl.

tion d'un simple sondage. Actuellement seule la méthode électrique a été systématiquement appliquée à la détection des sites et est déjà susceptible d'entrer dans la pratique courante [1].

On a quelquefois pensé à utiliser l'étude de la propagation des ondes pour déterminer l'existence ou les dimensions d'une cavité, la distance d'un sol rocheux etc. La méthode séismique employée par le géophysicien en provoquant de petits « tremblements de terre » artificiels est inutilisable pour résoudre des problèmes de cet ordre dont l'échelle est beaucoup trop petite. En effet pour une vitesse de propagation de quelques milliers de mètres par seconde et un chemin parcouru de l'ordre de quelques mètres, le temps de parcours serait de l'ordre de 1/1.000 de seconde. En théorie on pourrait imaginer un montage spécial adapté à de si courtes durées. mais l'appareil serait extrêmement coûteux et son maniement et son interprétation délicats. La mise en œuvre serait complètement disproportionnée à la médiocrité des résultats obtenus [2].

Il existe pourtant un appareil signalé par R. J. C. Atkinson dans son manuel de fouilles et qui semble adapté à la détermination de distances de l'ordre de quelques mètres. Il se compose essentiellement d'un émetteur consistant schématiquement en un percuteur frappant le sol plusieurs fois par seconde et un récepteur associé à un oscillagraphe. Quelques unes des ondes longent la surface du sol, les autres se propagent à travers les sédiments et sont réfléchies par des couches plus compactes (plancher stalagmitique ou roc). Le décalage des deux trains d'onde enregistrés sur l'écran de l'oscillographe renseigne sur la distance qui sépare la surface du sol de ces couches compactes [3]. Il semble qu'aucune expérience utilisant un appareil de cette nature n'ait été tentée par des préhistoriens. Son emploi de toutes façons resterait fort limité.

Mentionnons enfin une méthode de sondage acoustique purement qualitative et souvent employée par les fouilleurs et les spéléologues [4]. On frappe le sol ou le roc à l'aide d'un bélier ou d'une masse quelconque et le son obtenu est différent selon la nature du sous-sol, l'épaisseur de la roche, etc. L'interprétation est affaire d'expérience. C'est au moyen d'une barre à mine que furent prospectées certaines grottes sépulchrales de la Marne. Le son produit par la vibration de la barre permettait de distinguer si le roc récèlait une cavité. Un moyen analogue fut employé à Enkomi (Chypre) au cours des fouilles des tombeaux mycéniens. Ces tombeaux, vastes et bien construits, creusés dans le sol, étaient entièrement ensevelis et le repérage en était difficile. La couche d'humus était enlevée en un point et une cavité carrée creusée dans le sol dur. Puis on frappait sur chacune des faces de cette petite fosse à l'aide d'une barre à mine qui permettait de détecter la cavité d'un tombeau jusqu'à une distance de deux mètres. Une surface de 16 mètres carrés environ était

1. Voir chapitre II.

2. Renseignements L. Cagniard.

3. Cet appareil signalé par R. J. C. Atkinson, p. 219 de *Field Archaeology*, Londres, Nethuen, 1946, 246 p., VIII p., fig. est décrit par E. G. Richardson, *Physical Science in Art and Industry*, English University Press, p. 197.

4. E. C. Curwen, *Antiquity*, II, p. 258 ; IV, p. 30, R. J. C. Atkinson, *Field Archaeology*, p. 32.

ainsi prospectée pour chaque sondage [1]. De pareilles recherches eussent grandement été facilitées par la méthode de résistivité électrique du sol.

On peut perfectionner le moyen rudimentaire de la barre à mine à l'aide de petites capsules microphoniques du type de celles qui étaient employées pendant la guerre de 14-18 pour détecter les travaux de sape ou de mine, et qui étaient reliées par un tuyau à un casque à écouteurs. Un petit appareil de ce type pourrait sans doute être utile au cours de fouilles en grotte ou en abri sous roche à quelqu'un doué d'une bonne oreille et ayant un peu d'entraînement.

D'autres essais de prospection sont fondés sur l'analyse chimique du sol. L'accumulation des détritus et déchets de toutes sortes par les générations qui se sont succédées sur un sol a changé la proportion de certains de ses éléments constitutifs (phosphates, azote, etc.). Cette différence se manifeste quelquefois par des variations dans la densité de la végétation et peut alors dans certains cas être observée du sol ou, plus souvent, sur des photos aériennes. Elle est le plus souvent invisible et ne peut être mise en évidence que par l'analyse chimique des terres, analyse actuellement pratiquée sur une grande échelle dans beaucoup de contrées dans des buts agronomiques.

L'homme modifie le sol sur lequel il vit de différentes manières, soit en détruisant l'équilibre végétatif qui régnait avant son apparition, soit en apportant quotidiennement sur une aire resserrée les produits nécessaires à son entretien alimentaire. Si l'occupation humaine cesse, le faciès végétatif primitif peut réapparaître, mais la composition chimique du sol reste pendant fort longtemps différente de celle des sols voisins.

Dans un village, les produits de la culture, de l'élevage, de la chasse etc., sont régulièrement apportés, et, après consommation, se retrouvent finalement dans le sol sous forme de déchets ou de produits d'élimination. Les substances organiques ainsi déposées dans ou à proximité immédiate du village se décomposent ; seuls subsistent les éléments minéraux. Il s'ensuit une augmentation de ces éléments dans le sol d'un habitat par rapport et aux dépens des cultures environnantes. Cette augmentation est proportionnelle à la fois à la durée et à la densité de l'occupation humaine.

La plupart de ces éléments minéraux sont plus ou moins rapidement entraînés par les eaux (azote peu à peu entraînée sous forme de nitrates, potasse, etc.) ; seul l'acide phosphorique se trouve retenu soit à l'état insoluble (phosphate de chaux ou phosphate de fer), soit par absorption colloïdale. Par suite le dosage des phosphates exprimé en anhydride phosphorique ($P^2 O^5$), ou par toute autre méthode, d'échantillons de sol prélevés régulièrement sur une région anciennement habitée peut servir de point de départ à une série d'études archéologiques : prospection des sites, densité et durée de l'occupation, etc.

C'est un chimiste suédois, G. Arrhenius [2], qui eut le premier l'idée d'utiliser ces faits pour la prospection de villages ou d'habitats disparus. Sous son impulsion ce

1. Mouseion, XIIIe année, vol. 45-46, n° 1-II, 1939. *La Technique des Fouilles*, pp. 5-231, 7 fig. Un chapitre pp. 27-45 est consacré aux méthodes de prospection.

2. G. Arrhenius, « Boden Analyse zum Dienste der Archeologie », *Bodenlehre und Pflanzenernahrung*, 1931, et « Besondere Anwendungen der Boden Analyse », *id.*, 1932.

procédé se développa surtout en Suède où il permit l'établissement de cartes d'habitats préhistoriques[1]. D'autres études furent poursuivies en Hollande, en Allemagne, en Suisse[2]. A notre connaissance aucun essai dans cette direction n'a été tenté en France. Par contre des analyses furent exécutées avec succès au Tonkin par l'Institut de Recherches Agronomiques et Forestières d'Indochine et montrèrent que des conditions tropicales (climat chaud et humide), qui favorisent pourtant la dissolution, n'empêchent pas la conservation des phosphates dans les sol[3].

A intervalles réguliers, sur toute la surface de l'aire à prospecter, on fait des prélèvements de sol à une profondeur qui peut varier de 15 à 50 cm. Les résultats de l'étude de ces échantillons sont portés sur une carte. Les chiffres les plus élevés représentent la plus forte densité de population ou la plus longue durée de peuplement. De telles mesures faites en Suède sur une grande échelle ont permis de dresser des cartes d'habitats préhistoriques. La confirmation est faite par une comparaison avec la carte correspondante des trouvailles préhistoriques. Les emplacements à forte teneur en phosphates correspondent avec une précision étonnante avec ceux qui ont livré les plus abondants vestiges. Il est évident que la prospection ne peut avoir lieu que dans la mesure où la région étudiée n'a été occupée que pour une période nettement définie, la superposition des habitats brouillant naturellement les résultats. Il faut aussi se méfier de l'apport possible d'engrais modernes. Certains emplacements étudiés en Suède ont été occupés sans discontinuer depuis le mésolithique jusqu'au Moyen Age ; les sols étaient très riches en phosphates, sans que de cette richesse on puisse tirer d'indications bien intéressantes.

A ces problèmes de répartition qui formèrent le but des premières recherches, répondent des problèmes de prospection proprement dits. En Allemagne par exemple W. Lorch a déterminé une échelle de la teneur en phosphates des différentes couvertures végétales typiques (forêts, paturages, champs, etc.) qui lui permirent de déterminer rapidement si les échantillons examinés avaient été prélevés sur un ancien emplacement d'habitation ou non. Il put ainsi, entre autres résultats satisfaisants, par l'analyse d'une quarantaine d'échantillons prélevés sur une distance de 3 km. sur une basse terrasse des environs de Cologne localiser très rapidement, quelques anciens habitats probablement mésolithiques.

Mais ce sont surtout les régions déshéritées et qui n'ont jamais formé centres d'attraction pour les populations, qui sont les plus favorables à ce genre de recherches. Prochainement des dosages de phosphates doivent être tentés dans les régions désertes des Canaux de Magellan qui ne sont plus fréquentées que par quelques dizaines d'Indiens Alakaluf, derniers survivants d'une population qui, il y a deux ou trois siècles, comptait probablement vingt ou trente mille représentants. La région

1. Dans une communication faite au Congrès International des Sciences Anthropologiques et Ethnologiques, tenu à Bruxelles en 1948, P. Moddermann a fait un exposé de la question avec présentation de cartes.

2. Voir par exemple W. Lorch, *Die Naturwissenschaften*, 1940, n. 40-41. Exposé d'une méthode simplifiée, applications et résultats. On trouve un résumé allemand de cette étude dans le *XXXV*e *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Urgeschichte*, pp. 91-92.

3. E. M. Castagnol, « Méthode d'analyse des sols appliquée à la recherche d'emplacements anciennement habités », *Institut indochinois pour l'Etude de l'Homme*, 1939, pp. 191-203. C'est à cette étude que sont empruntés la plupart des renseignements relatifs à cette méthode.

n'a jamais été occupée par des Blancs — seuls quelques rares chasseurs de fourrure la visitent de temps à autre. La bordure côtière est seule habitable et limite ainsi avec précision le terrain à prospecter. On espère pouvoir établir ainsi, sans frais et sans sondages multiples, des points de fouille qui auraient pu échapper à une investigation de surface.

La détection des objets

Les objets témoins d'une occupation humaine retrouvés dans les gisements préhistoriques ne sont pas très variés. Ce sont des instruments de silex ou autres pierres, des cendres ou des charbons de bois, des ossements, et, pour les périodes plus récentes, des tessons de poterie et des objets de métal. Nous ne mentionnerons ici que pour mémoire des vestiges organiques (fibres, cuirs, traces de nourriture, etc.) qui sont si rares et en quantité si infime qu'il semble évident qu'aucune détection à distance ne leur sera jamais applicable.

De même on imagine difficilement une méthode permettant de déceler la présence de silex ou de pierres travaillés par l'homme, car il s'agirait non seulement de déterminer leur présence dans un site, mais aussi de les distinguer des autres pierres ou silex qui y ont été amenés par des agents naturels. Sous cette forme cette entreprise paraît également irréalisable. Par contre les ossements et les charbons de bois que l'on trouve en abondance dans les gisements archéologiques sont nettement caractéristiques d'un habitat humain (ou animal). Aucune méthode de prospection ne leur a jamais été appliquée.

Restent les objets métalliques et les tessons de poterie des époques plus récentes. Le détecteur électro-magnétique permet de déceler la présence des premiers et même, dans certains cas celle des seconds, mais son emploi est limité à des conditions bien particulières [1].

Il est difficile de passer sous silence une méthode qui rencontre la faveur de certains préhistoriens, et provoque le scepticisme des autres. Il est plus difficile encore d'en parler ! Les recherches faites à la baguette ou au pendule et dont on nous dit qu'elles peuvent s'appliquer non seulement à l'eau, au pétrole ou à certains minerais, mais aussi aux ossements et à des objets de métal ou de matières diverses pourraient faire l'objet d'études et d'exposés tout aussi positifs que n'importe quelles autres. Elles restent cependant du domaine de la foi. Les uns y croient, les autres n'y croient pas. Et hors de ces prises de position, il est impossible de trouver une documentation sérieuse et précise sur des expériences faites à l'aide du pendule ou de la baguette, expérience dont, statistiquement, les résultats montreraient si elles sont valables ou non [2].

1. Voir chapitre III.

2. On peut consulter à ce sujet E. Salin, *Manuel de Fouilles archéologiques. I. Les Fouilles de Sépultures du Ve au VIIIe siècle*, Paris, 1946, où l'auteur décrit rapidement pp. 20-22 la façon dont il opère pour découvrir à l'aide de la baguette des ossements et des objets de métal; p. 79, détermination du sexe des ossements à l'aide du pendule.

⁂

Si l'on fait le bilan des résultats obtenus dans les problèmes de détection, on voit de graves lacunes voisiner avec des réussites brillantes et systématiquement exploitées comme celles dues à la photographie aérienne, à l'analyse de la teneur en phosphates des sols ou à l'étude de leur résistivité électrique.

La détection des objets est pratiquement inexistante ; d'ailleurs dans les quelques cas où elle est possible, quand il s'agit d'objets de métal en particulier, elle relève davantage de la technique des fouilles que de la prospection des gisements. Quant à celle-ci, ses réussites pratiquement ne s'appliquent qu'à des sites historiques, protohistoriques ou néolithiques. Théoriquement sans doute on pourrait appliquer certaines méthodes à quelques sites paléolithiques, mais ceux-ci se présentent dans des conditions beaucoup moins favorables. Ils sont plus profondément enfouis, se distinguent moins nettement des terrains environnants, et, lorsqu'il ne s'agit pas de grottes ou abris, sont beaucoup plus dispersés.

Mais les tentatives dans le domaine de la détection sont toutes récentes, il est difficile de prévoir leur avenir. De toutes façons le fait de pouvoir déterminer avant le moindre coup de pioche l'emplacement strictement invisible d'une ancienne occupation humaine est déjà bien inespéré. Plus que de regretter les échecs et les lacunes, il faut s'émerveiller des réussites.

CHAPITRE I

LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE

La photographie aérienne permet d'étudier la surface de la terre et tout ce que celle-ci a pu enregistrer de l'œuvre humaine sous l'angle et à l'échelle que l'on désire. De très nombreuses disciplines peuvent profiter des avantages qui découlent d'une telle possibilité : non seulement militaires et topographes, mais géologues, géographes, biogéographes, ethnologues, archéologues et préhistoriens font aujourd'hui appel d'une façon de plus en plus large à la photographie aérienne.

Cette méthode de travail est évidemment jeune, liée qu'elle est à la conquête récente de l'air par l'homme.

Avant la première guerre mondiale, seules avaient pu avoir lieu quelques tentatives d'observation de sites archéologiques par ballon (par exemple Sharpe à Stonehenge, en Angleterre), mais ceci d'une façon très limitée.

L'application de l'observation et de la photographie aérienne à l'archéologie ne débute réellement que pendant la guerre de 1914-1918, en liaison étroite avec le développement de ces mêmes méthodes utilisées à des fins militaires. C'est sur les théâtres d'opération du Proche-Orient que les premiers résultats positifs devaient être obtenus par les diverses nations belligérantes.

De 1916 à 1919, le français Léon Rey utilise la photographie aérienne pour l'étude des habitats anciens de la Macédoine, et publie ses observations en 1921.

A la même époque, l'Allemand Théodore Wiegand est envoyé en mission spéciale dans la région du Sinaï et dans le Sud de la Palestine en vue de faire l'étude par avion des sites anciens que recèlent en abondance ces contrées ; il en rapporte la première collection importante de photographies aériennes prises spécialement en vue d'études archéologiques, qui seront publiées en 1920.

De son côté l'anglais Beazeley observe et photographie des sites archéologiques (cités anciennes, réseaux d'irrigation abandonnés) en Mésopotamie et publie les résultats obtenus dès 1919 [1].

1. G. A. Beazeley, « Air photography in archaeology », *Geographical Journal*, LIII, 1919, pp. 330-335.

En Europe occidentale, aucun résultat du même ordre n'est encore obtenu à cette époque ; le passé y est enfoui plus profondément sous terre que dans les régions semi-désertiques et il fallut quelques années de plus pour que des méthodes d'étude appropriées fussent mises au point. Ce sont les chercheurs anglais qui devaient prendre la tête des travaux en ce domaine à partir de 1922, sous l'impulsion de O. G. S. Crawford et du Major Allen, lesquels joignent les qualités d'archéologues à celles d'aviateurs et d'observateurs aériens, avec toute l'expérience acquise au cours de la guerre. Et c'est en Grande-Bretagne toute une série de découvertes importantes et de photographies spectaculaires concernant d'anciens camps, des habitats, des tumulus, ainsi que la révélation d'une archéologie agraire jusqu'ici insoupçonnée. Depuis lors l'Angleterre est restée en tête des recherches, tant grâce aux bonnes conditions d'observation qu'offre son sol que grâce à l'intérêt porté dès le début à la nouvelle méthode et à la qualité du personnel qui l'utilise.

Peu à peu des résultats analogues, bien qu'à une moindre échelle, sont obtenus çà et là en Europe entre les deux guerres, tandis que les découvertes continuaient dans le Proche-Orient ; le plus important travail systématique réalisé à cette époque grâce à l'emploi de la photographie aérienne est sans contredit celui du Père Poidebard, à la fois archéologue et aviateur lui aussi, qui recherche en Syrie toute l'organisation du *limes* romain (1925-1932) [1], puis étudie l'ancienne ville de Tyr et son port enfoui sous les eaux (1934-1936) [2], et enfin le *limes* byzantin de Chalcis (1934-1942) [3].

L'utilisation intensive de l'aviation au cours de la seconde guerre mondiale devait amener cette fois encore de nouveaux progrès dans le domaine de l'archéologie aérienne : d'une part les méthodes d'enregistrement et d'interprétation se perfectionnent, d'autre part de nombreux territoires qui jusqu'ici n'avaient pas été prospectés sont l'objet de survols répétés de la part des aviations belligérantes. Parmi les résultats les plus importants, il faut signaler les belles découvertes de la R. A. F. en Italie, mises principalement en œuvre par J. Bradford. Pour citer un exemple, la prospection aérienne de l'Apulie entre les rivières Ofanto et Fortore a permis de repérer 150 à 200 sites d'habitats néo-énéolithiques, un important système de centuriation romaine jusqu'ici inconnu, avec les villas qui y sont associées, plus de deux douzaines de fortifications médiévales ainsi que la trace des champs contemporains de celles-ci, sans compter un très grand nombre de sites anciens dont l'identification précise ne pourra être faite que par la suite par un contact plus direct avec le terrain [4].

1. A. Poidebard, *La trace de Rome dans le désert de Syrie*, Paris, Geuthner, 1934, p. 213, pl. 161.

2. A. Poidebard, « Un grand port disparu : Tyr », *Recherches aériennes et sous-marines*, Paris, Geuthner, 1939, p. 78, pl. 29.

3. R. Mouterde & A. Poidebard, *Le limes de Chalcis*, Paris, Geuthner, 1945.

4. J. Bradford et P. R. Williams, « Siticulosa Apulia », *Antiquity*, décembre 1946.

Parmi les travaux les plus récents, il faut citer particulièrement les belles recherches de J. Baradez sur le limes romain de Numidie, publiées en 1949 [1], ainsi que le développement de l'archéologie aérienne en U. R. S. S., où en 1946-47 Tolstoff et Orloff ont utilisé l'aviation d'une façon systématique pour la prospection des vestiges anciens du Khorezm, en Asie centrale, et l'établissement de la carte archéologique de la région [2]. Signalons enfin que d'intéressants résultats ont également été obtenus en Asie méridionale (Siam, Indochine) [3] et en Afrique du Sud (Rhodésie) [4].

Principes

Avant de passer en revue les différents types de découvertes réalisées grâce à l'emploi d'aéronefs et les diverses utilisations des photographies aériennes dans le domaine de l'archéologie, il est bon d'avoir présents à l'esprit les principes généraux en vertu desquels la vue aérienne révèle davantage qu'une simple vision au sol [5].

Il y a d'abord le facteur échelle. Pour reprendre une comparaison souvent citée, mais suggestive, de Crawford, un observateur couché sur un tapis, l'œil placé à quelques centimètres seulement au-dessus de sa surface, ne perçoit que des laines irrégulièrement colorées qui se dressent plus ou moins haut et se trouve d'en l'incapacité d'en saisir le dessin d'ensemble ; celui-ci lui apparaîtra par contre clairement dès qu'il se mettra debout. Cet exemple se laisse transposer sans efforts en termes archéologiques ; le cas est fréquent par exemple en Asie du Sud-est (Siam, Indochine), de structures anciennes à peu près complètement nivelées dont l'emplacement est aujourd'hui occupé par des rizières ; le plan des bâtiments détruits reste marqué par les diguettes séparant les divers compartiments cultivés et par endroit une digue un peu plus large ou un peu plus élevée que ses voisines marque le tracé d'un ancien mur, mais l'observateur au sol est incapable de discerner ces lignes privilégiées. D'avion par contre le tracé des fortifications ou des murs anciens lui apparaîtra avec la netteté d'un plan d'architecte.

D'une façon plus générale, plus les vestiges anciens étudiés occupent

1. J. Baradez, *Fossatum Africae*, Paris, Arts et Métiers graphiques, 1949, p. 377.

2. H. Vivier, « Recherches archéologiques aériennes dans le Khorezm », *Bulletin de la Société préhistorique française*, XLVI, 1949, pp. 164-166.

3. Williams, « Irregular earthworks in East Siam : an air-survey », *Antiquity*, mars 1950, pp. 30-36.

4. O. G. S. Crawford, « Rhodesian cultivation terraces », *Antiquity*, juin 1950, pp. 96-98.

5. Voir *Découverte aérienne du Monde* publiée sous la direction de P. Chombart de Lauve, Paris, Horizons de France, 1948-, 416 pp. 300 vues aériennes, en particulier l'introduction.

une surface étendue, plus la photographie aérienne rend de services à l'archéologue ; elle est en fait la seule méthode permettant de se procurer une vision d'ensemble qui ne soit pas une interprétation humaine, mais contienne toute la richesse de la réalité. C'est ainsi que la photographis aérienne rend d'immenses services dans la recherche des anciennes voies de communication, et que l'archéologie agraire n'a pu voir le jour que grâce aux possibilités d'observation qu'elle offre maintenant.

Il y a ensuite le facteur angle de vision, intimement lié à celui de l'éclairage. Les vestiges anciens qui n'ont pas été totalement nivelés, mais qui sont réduits à un faible relief ont intérêt à être examinés sous un angle et avec un éclairage qui permette de les percevoir avec un maximum d'acuité, par exemple en exagérant le plus possible les ombres portées. Il existe pour chaque site un angle de vision privilégié sous lequel les détails se révèleront avec une netteté toute particulière, et il est certain que cet angle de prise de vue optimum a beaucoup plus de chances d'être atteint avec des possibilités de déplacement dans un univers à trois dimensions que dans un univers à deux dimensions. Les expériences en de domaine ont surtout été l'œuvre du Père Poidebard au cours de ses fructueuses recherches en Syrie.

Dans le cas de vestiges complètement nivelés, c'est un troisième facteur qui entre en jeu : celui de la croissance différentielle de la végétation sur l'emplacement de vestiges antiques. Et c'est ici le triomphe de la photographie aérienne, car en ce cas rien d'autre, fors la découverte fortuite qui n'est pas une méthode de recherche, ne peut y suppléer. Le principe est simple : la vigueur de la végétation, et en particulier des cultures, est fonction de la profondeur du sol superficiel humique dans lequel elles puisent leur nourriture. Or cette profondeur se trouve augmentée lorsqu'un fossé a été creusé, puis s'est comblé peu à peu par l'apport de terre superficielle ; elle se trouve par contre diminuée lorsque un mur, ou un amas de pierres, ont existé anciennement sur un emplacement donné. La végétation se trouvera donc, selon les cas, plus fournie ou moins fournie sur l'emplacement de vestiges anciens nivelés que sur le terrain environnant. Cette différence est en général invisible pour un observateur au sol qui en a une vision trop latérale avec un recul insuffisant ; elle se manifeste par contre très nettement à l'observateur aérien par des différences de coloration. Les traces de fossés ou excavations anciennes apparaissent normalement en plus foncé, celles d'anciens murs en plus clair sur le fond des cultures. L'intensité de ces contrastes est naturellement fonction de multiples facteurs, tels que la nature du sous-sol, la nature de la végétation, la période de l'année où se place l'observation. L'incidence de tous ces éléments sur les résultats obtenus a principalement été étudiée en Grande-Bretagne par Crawford et le Major Allen[1].

1. O. G. S. Crawford, *Air photography for archaeologists*, *Ordnance Survey, Professionnal papers*, N. S. nº 12, Southampton 1929.

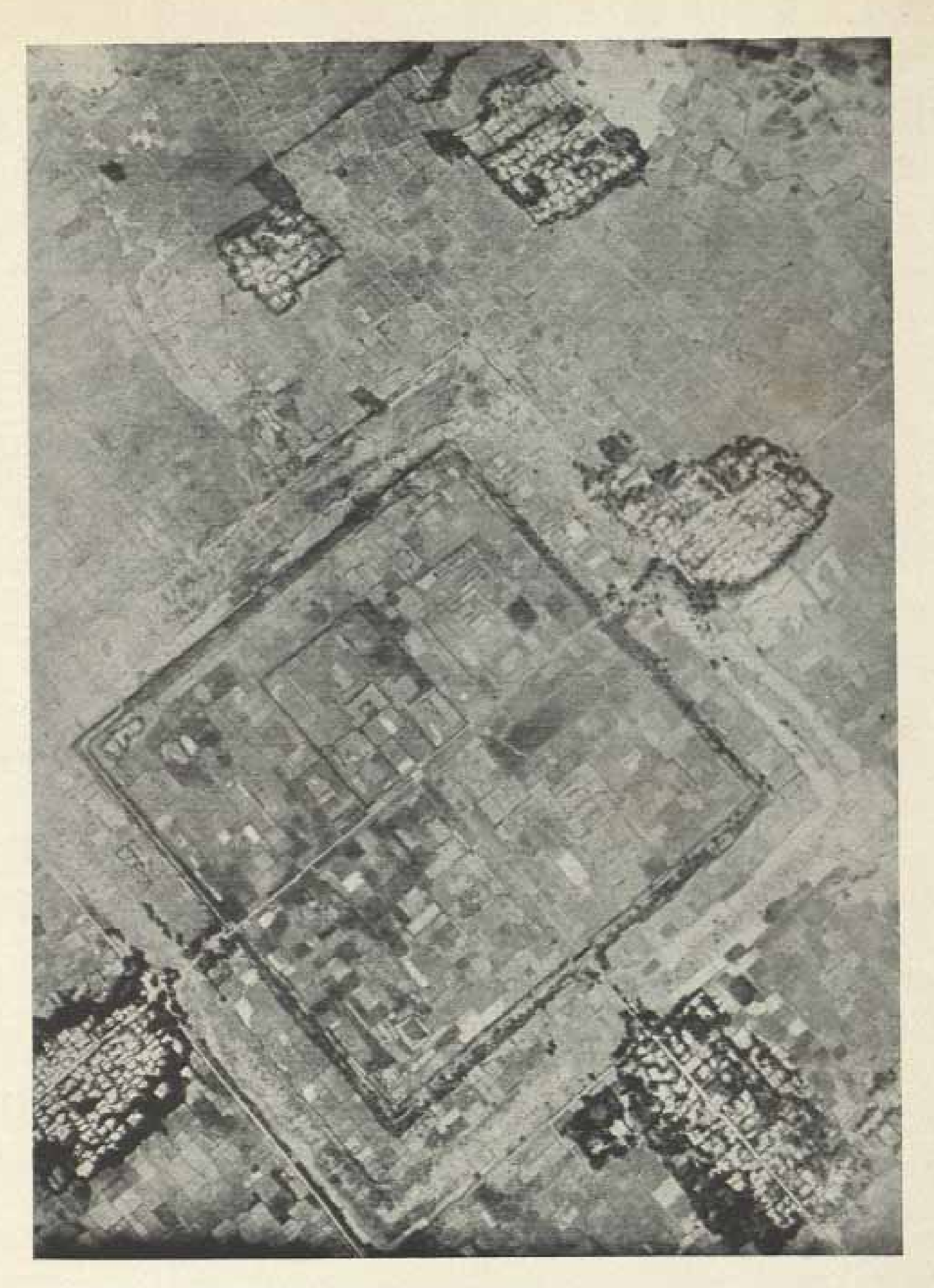


PLANCHE III — INDOCHINE. Centre Viet-Nam. Thanh-hoa.
La citadelle des Hô ; citadelle annamite de la fin du XIV[e] siècle, détruite au début du XV[e] siècle ; ce site est aujourd'hui entièrement occupé par des rizières dont les digues reproduisent le plan des édifices, des avenues et des enceintes anciennes. (Collection du Musée de l'Homme, Aéronautique militaire de l'Indochine).

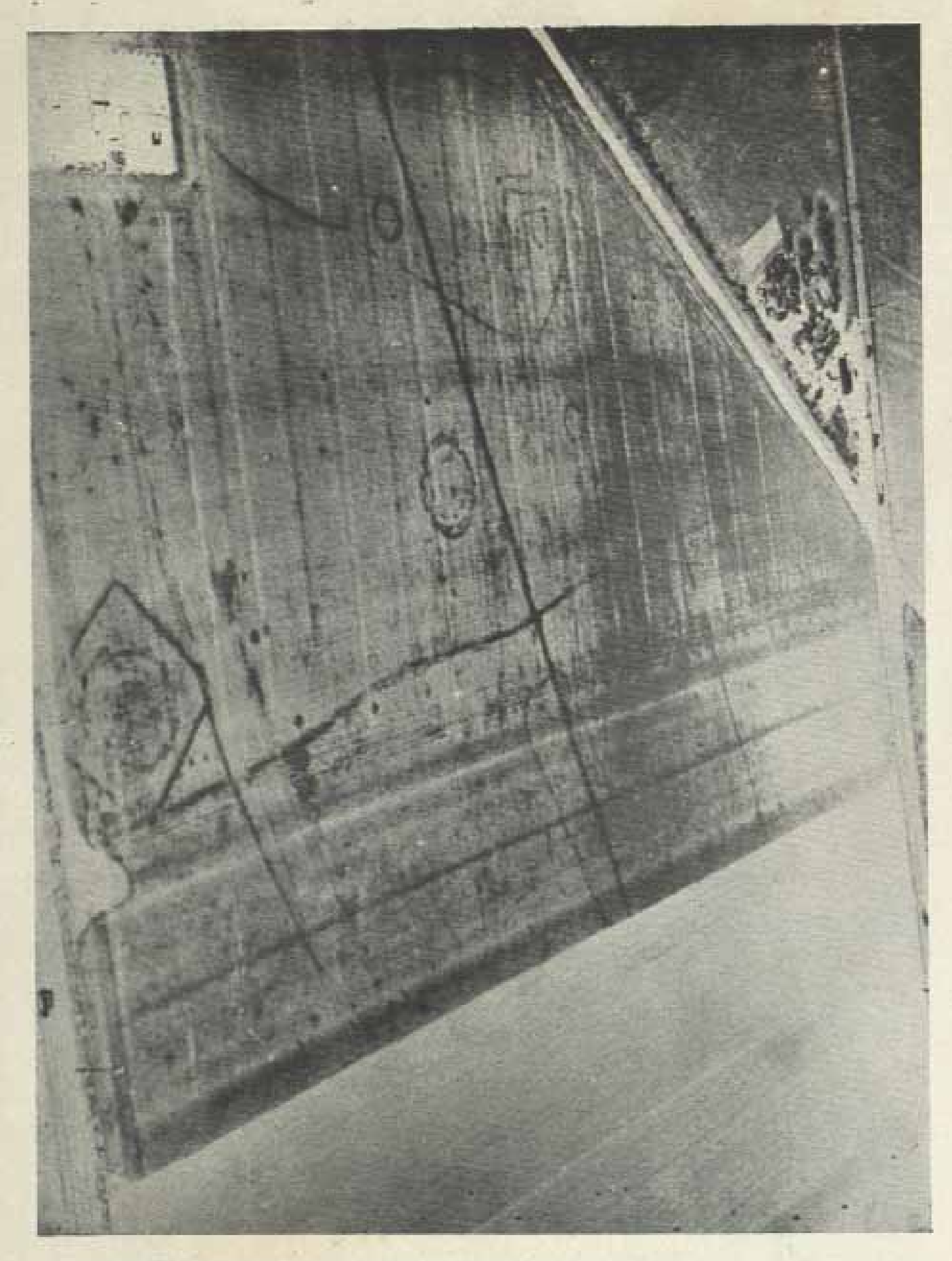


PLANCHE IV — ANGLETERRE. Oxfordshire, Dorchester.
Site préhistorique révélé par les lignes plus sombres marquant l'emplacement des fossés ; des structures anciennement en bois peuvent aussi être décelées.

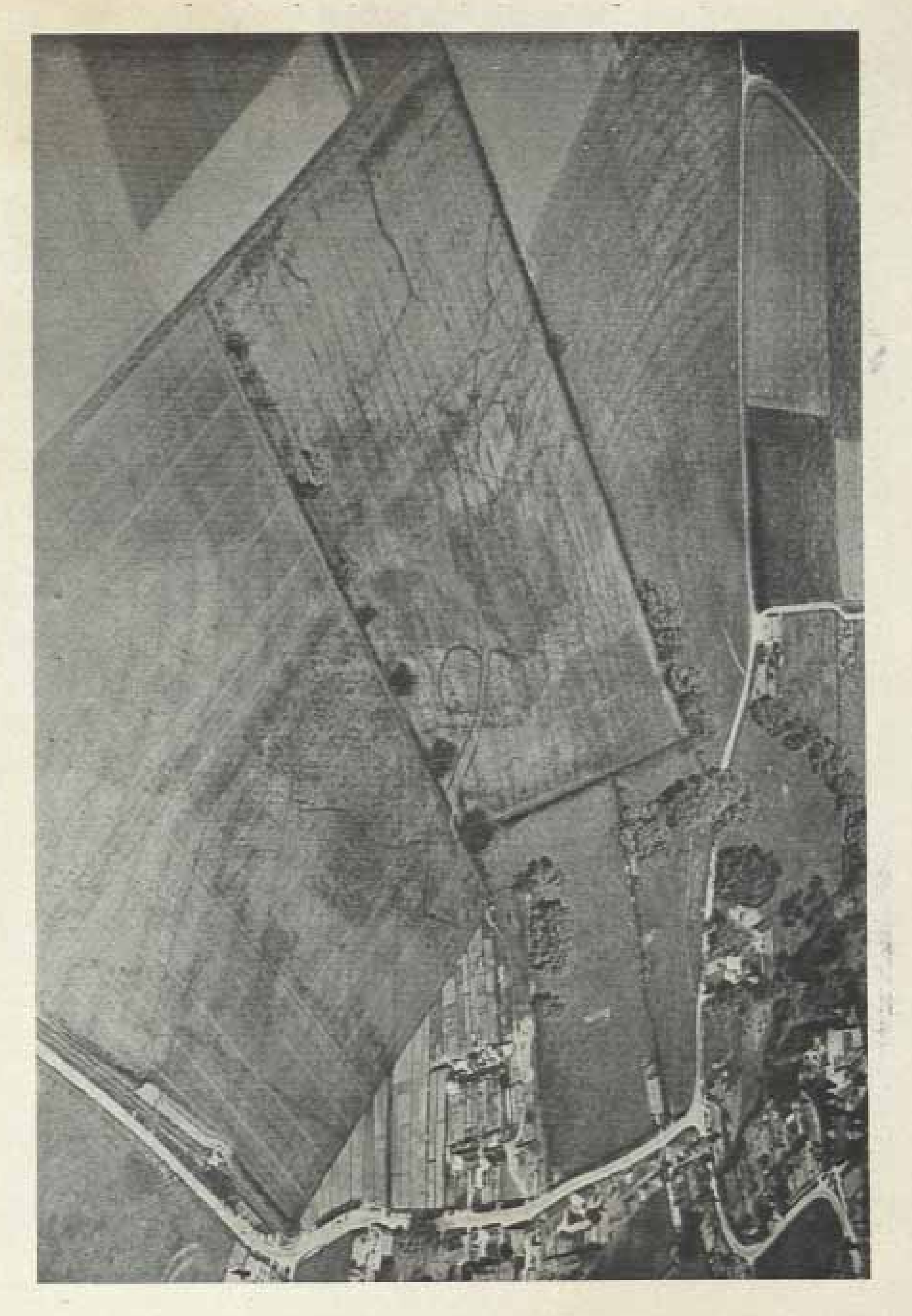


PLANCHE V — ANGLETERRE. Oxfordshire Stanton Harcourt.

Photo aérienne prise le soir, montrant la superposition des trois systèmes agraires successifs ; petits champs irréguliers d'âge préromain et romain, champs en lanières médiévaux, champs actuels.

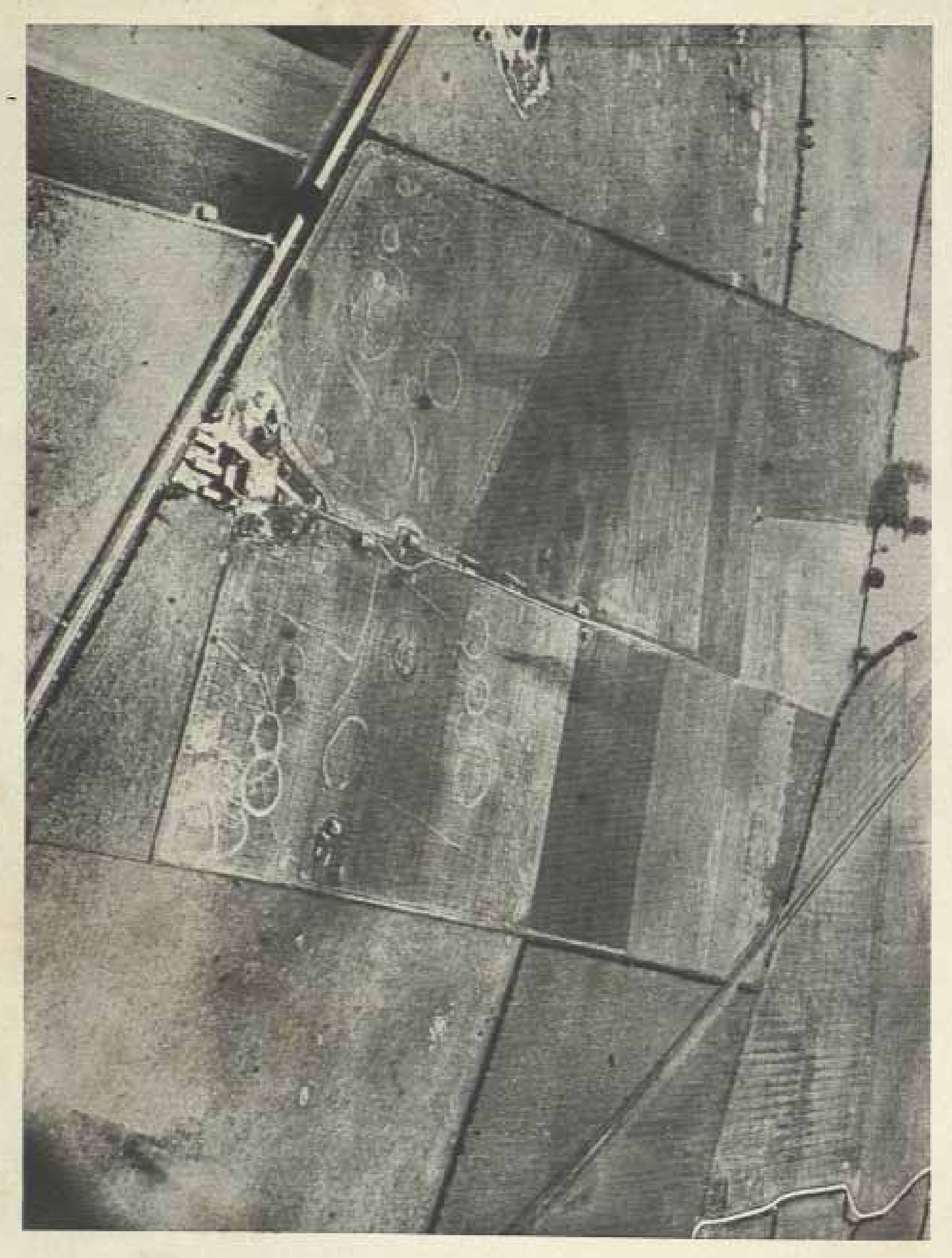


PLANCHE VI — ANGLETERRE. Oxfordshire. Eynsham Foxley Farm.

Groupe de tumulus de l'âge du bronze, visibles sur cultures de céréales à maturité (Juillet). Selon l'état des cultures, les fossés sont marqués par un cercle plus sombre (en haut), ou plus clair (en bas, tiges couchées par le vent). Enclos d'époque romaine marqués par des tracés rectilignes.

Les planches IV - V - VI proviennent de la Collection du Musée de l'Homme, cliché Ashmolean Museum.

Il s'ensuit de ces remarques que n'importe quelle photographie aérienne n'est pas utilisable pour l'archéologue, mais que le bon document requiert toute une série de caractéristiques, variables selon l'objet de l'étude. Que l'échelle des photographies doive être proportionnée aux dimensions de l'objet de l'étude, cela est suffisamment clair pour qu'il ne soit pas utile d'y insister. Pour les ouvrages apparents, le plus grand compte devra être tenu de l'éclairement, donc de l'angle de prise de vue, des conditions atmosphériques, de l'heure et de la position par rapport au soleil, etc. En ce qui concerne les sites révélés uniquement par des marques dans la végétation (crop-sites des auteurs anglais), si les facteurs climat et nature du sol ne dépendent pas de l'observateur, il est par contre d'autres facteurs qui devront être tenus par lui en grande considération. Dans les terrains cultivés soumis à l'assolement, il y aura toujours un type de cultures pour lequel les marques se révèleront avec une netteté supérieure ; à cet égard, les céréales présentent une valeur inégalable ; les prairies par contre offrent peu de ressources, sauf par temps extrêmement sec. Des photographies ont fréquemment été publiées, qui montrent des enceintes anciennes dont les fossés se marquent avec une extrême netteté dans un champ de céréales, tandis qu'ils apparaissent par contre difficilement discernables dans un champ de pommes de terre ou dans un pré immédiatement contigus.

L'importance de la saison reste primordiale, car elle conditionne l'état de la végétation qui révèle les sites disparus. Les marques revêtent une netteté particulière lorsque les moissons arrivent à maturité, vers Mai-Juin ; les anciens fossés se dessinent alors en sombre, les murs en clair. Parfois en Juillet, peu de temps avant la moisson, les épis qui s'élèvent plus haut que les autres sur les emplacements où le sol a anciennement été creusé ont été couchés par le vent qui a plus de prise sur eux, et le site sera alors marqué par la teinte plus claire des tiges courbées.

Un bel exemple, photographié par le major Allen, illustre l'importance de la saison en matière d'archéologie aérienne. Il s'agit de la villa romaine de Ditchley, près Charlbury (Oxfordshire), en Grande-Bretagne, qui a été photographiée à la même échelle à la fin du mois de Juin et à la fin du mois de Mars. Le premier document, obtenu avec cultures de céréales à maturité, permet de lire avec une parfaite netteté le plan des bâtiments, dont les différentes pièces se laissent discerner très aisément ; les murs, qui ne sont nulle part visibles au sol, sont rendus en minces lignes plus claires, tandis que le fossé d'enceinte et le puits se marquent en teintes plus foncées. Les détails sont ici tellement apparents que la fouille même ne pourrait rien y ajouter. Par contre, le même site photographié en Mars, avec terrain labouré, ne laisse pas apparaître la plus légère trace des vestiges enfouis sous le sol.

Ces quelques vues générales montrent les possibilités que peut offrir à l'archéologue l'observation aérienne, en même temps que les précautions qui doivent être prises pour l'utiliser d'une façon qui soit efficace.

Il peut être intéressant d'étudier maintenant de plus près les différents cas dans lesquels la photographie aérienne est susceptible d'apporter une aide au préhistorien ou à l'archéologue, ainsi que les caractéristiques requises pour chaque type d'utilisation.

En gros, on peut distinguer trois catégories d'utilisation :

1° Pour la prospection en terrain inconnu ou mal connu.

2° Comme guide pour le travail sur le terrain.

3° Comme document pour la publication.

La prospection aérienne

La prospection aérienne en terrain inconnu ou mal connu peut être faite par un observateur qualifié qui cherche à repérer des sites antiques en survolant méthodiquement le terrain, puis, une fois ceux-ci identifiés, les photographie sous l'angle et à l'échelle la plus favorable. C'est la méthode qui fut employée aux débuts de l'archéologie aérienne, et ses succès en leur temps furent suffisamment éclatants. Elle semble cependant présenter plusieurs défauts et ne plus correspondre aux possibilités et aux besoins actuels. Quelles que soient les qualités de l'observateur, il lui est matériellement impossible de tout voir, d'autant plus que le champ de vision est en changement continuel et qu'il ne peut accorder qu'une attention très limitée à chaque détail, dont bon nombre peuvent ne pas livrer sur-le-champ leur signification. Les difficultés de repérage exact sur la carte des vestiges découverts et photographiés isolément doivent également être prises en considération. D'autre part, les obstacles techniques qui limitaient autrefois étroitement le nombre de prises de vue réalisables en une seule sortie sont aujourd'hui levés, et l'archéologie aérienne ne peut pas ne pas tenir compte de l'expérience acquise en matière de détection par avion au cours de la dernière guerre mondiale.

C'est pourquoi l'archéologie moderne utilise aujourd'hui de préférence pour la prospection aérienne de vastes zones mal connues les couvertures complètes à petite ou moyenne échelle, prises en bande avec recoupement de chaque cliché de manière à permettre l'emploi du stéréoscope. Les prises de vue sont faites automatiquement, et c'est au laboratoire, avec tout le temps et l'équipement désirable que se fera la véritable recherche. La totalité du terrain pourra être ainsi examinée à loisirs, quitte une fois les sites intéressants localisés, à effectuer pour leur étude de détail une nouvelle mission présentant d'autres caractéristiques.

Les cas où la prospection sur couverture photographique de vastes zones apporte à l'archéologie des résultats intéressants sont d'ordre extrêmement divers.

Pour les spécialistes du paléolithique, sans jamais remplacer l'indispensable prospection au sol, la photographie aérienne peut dans une certaine mesure guider et faciliter celle-ci. Pour les gisements inclus dans des dépôts alluviaux, les couvertures aériennes permettent de compléter ou de préciser les cartes géologiques, d'étudier la répartition des terrasses fluviatiles et de mieux comprendre les formations quaternaires de la région étudiée. Elles permettent en outre de repérer rapidement toutes les coupes accessibles (sablières, ballastières, tranchées de chemin de fer) et par conséquent de préparer un itinéraire rationnel de prospection au sol éliminant les tatonnements et les démarches inutiles.

Pour la localisation des grottes, l'observation aérienne est peu utilisée, car celles-ci ne se marquent normalement pas sur couverture aérienne verticale. Il faut noter cependant que des résultats intéressants ont été obtenus par le commandant Thoret en Provence, où il a systématiquement prospecté par avion une partie de la chaîne des Alpilles, et pu y découvrir un certain nombre de grottes sépulcrales et de sites préhistoriques insoupçonnés.

Avec le néolithique et les périodes qui lui font suite, les possibilités qu'offre le travail de prospection sur couverture aérienne prennent un développement beaucoup plus considérable. En fait, l'intérêt de la méthode se développe progressivement au fur et à mesure que l'on aborde des périodes où la marque de l'homme sur la terre s'est faite plus profonde. Les habitats terrestres, camps ou villages, ainsi repérés sont aujourd'hui extrêmement nombreux un peu partout. Les enceintes des camps anciens n'ont généralement pas été totalement nivelées et sont alors facilement repérables ; souvent, une ligne d'arbustes marque les anciennes lignes de fortification que la culture n'a pu entamer, comme c'est fréquemment le cas pour les nombreux éperons barrés de France. Parfois, un petit bois occupe l'intérieur d'un camp antique dont il épouse exactement la forme, les remparts ayant fait obstacle au défrichement par les cultivateurs (camp de l'Etoile dans la vallée de la Somme). Même nivelés, les camps romains sont révélés au moins par le carré plus sombre qui marque l'emplacement du fossé extérieur. C'est également la colloration plus foncée des cultures sur l'emplacement des fossés d'enceinte et d'enclos qui signale les villages néolithiques d'Italie méridionale.

Non seulement les sites enfouis sous le sol, mais également ceux qui ont disparu sous les eaux sont susceptibles d'être révélés par la photographie aérienne, dans la mesure bien entendu où la profondeur d'immersion n'est pas trop grande. Le Père Poidebard a pu obtenir ainsi de belles photos d'un village recouvert par les eaux du lac de Homs, en Syrie, et a utilisé systématiquement la photographie aérienne pour étudier l'organisation de l'ancien port de Tyr, dont les restes se trouvent actuellement au-dessous du niveau de la mer ; il a pu ainsi restituer l'ancien tracé des digues d'une façon perceptible à l'œil et mettre fin aux querelles que se

livraient à ce sujet les archéologues qui se fondaient sur les seuls textes anciens [1].

En ce qui concerne les palaffites, leurs vestiges ne sont pas suffisamment visibles pour pouvoir être étudiés sans préparation préalable. Nous signalerons plus loin les expériences qui ont été faites en ce domaine.

L'archéologie agraire est un des domaines où le travail sur couverture aérienne rend le plus de services. De très beaux résultats ont été obtenus sur ce point en Angleterre. Sous-jacents aux vastes champs actuels, apparaissent fréquemment les champs médiévaux en lanières longues et étroites ; ceux-ci recoupent parfois à leur tour les petits champs carrés ou irréguliers romano-celtiques, dont les limites apparaissent en traces plus sombres. Quelques belles photographies montrent la superposition des trois types (par exemple Stanton Harcourt, dans l'Oxfordshire). En plusieurs points, les champs celtiques ou celto-romains ont depuis été abandonnés à la pâture sans avoir été détruits par les systèmes agraires postérieurs, et en ce cas des photographies suggestives peuvent en être obtenues en utilisant l'ombre portée par les rideaux qui subsistent encore. Lorsque ces rideaux ont été détruits par la suite, les modifications que leur formation a apportées à la composition et à la profondeur du sol superficiel sont suffisamment importantes pour donner naissance à la constitution de cropmarks du type habituel. La configuration des champs préromains a pu être relevée systématiquement en Angleterre sur des surfaces importantes.

Dans le bassin méditerranéen, les traces de systèmes agraires romains ont de même pu être relevés en plusieurs endroits ; les plus belles études concernent les grands lotissements de terre qui accompagnaient la fondation de colonies romaines aux premiers siècles avant et après l'ère chrétienne, et appelées centuriations. Malgré les siècles écoulés, la limite des anciens lots de terrain est généralement assez fidèlement conservée de nos jours par le réseau des routes et chemins et les limites des champs actuels. Mais l'observateur au sol ne peut distinguer ces lignes directrices qui n'apparaissent que sur couverture aérienne à moyenne échelle. Les premières observations en ce domaine ont été signalées en Tunisie par Saumagne dès 1929. Depuis d'importantes études ont été faites sur la question par Bradford en Italie et en Yougoslavie [2].

Dans les régions subdésertiques, l'étude de la répartition des zones anciennement irriguées et le relevé du réseau fossile des canaux d'irrigation sont de même grandement facilités par l'emploi de la photographie aérienne où ils se marquent avec une netteté parfaite ; les meilleurs résultats en ce domaine ont été obtenus en Irak, en Syrie et en Afrique du Nord, où J. Baradez a publié de remarquables documents [3].

1. A. Poidebard, « Un grand port disparu : Tyr », *Recherches aériennes et sous-marines.*

2. J. Bradford, « A technique for the study of centuriation », *Antiquity*, déc. 1947, pp. 197-204.

3. J. Baradez, *Fossatum Africae*, Paris, 1949.

En ce qui concerne les sépultures anciennes, dont la découverte est particulièrement précieuse pour l'archéologie, l'intérêt de l'étude sur photographie aérienne varie suivant la nature de celles-ci. Les monuments mégalithiques sont généralement facilement repérables au sol, et le rôle de la photo aérienne se borne ici à être surtout illustratif. Pour les tumulus par contre, la découverte de sites nouveaux grâce à la prospection aérienne est chose courante. Les tumulus constitués uniquement de terre restent, même une fois nivelés marqués par le cercle plus sombre qui indique l'emplacement du fossé d'où les terres ont été extraites (cas fréquent en Grande-Bretagne) ; le centre du monument apparaît par contre en plus clair lorsqu'il y a eu apport de matériaux provenant de couches profondes du sol moins fertiles. De même les tumulus incorporant des pierrailles resteront indiqués par des taches plus claires (cimetières étrusques d'Italie). Si un relief léger persiste, l'examen stéréoscopique permettra souvent de le déceler. Dans le cas où les sépultures ne sont pas disposées au hasard, mais sont groupées selon une structure traditionnelle où reliées par des organes tels que les *vie sepolcrali* des nécropoles étrusques, cette organisation ressort immédiatement de l'étude attentive du document aérien, et peut dispenser de longues et difficiles prospections au sol pour le relevé des plans [1].

L'utilisation des couvertures aériennes à petite échelle a également rendu les plus grands services dans l'étude des anciennes voies de communication et des grandioses fortifications linéaires du types des *limes* romains. La voie romaine est généralement très visible d'avion ; dans les cultures, les deux fossés se marquent en bandes plus sombres encadrant la ligne légèrement plus claire de la chaussée. En région semi-désertique, une légère végétation souligne le plus souvent le tracé des fossés. En Algérie, J. Baradez a pu étudier sur 750 km. le tracé de l'ancien *fossatum* qui formait la défense avancée du *limes* de Numidie, et étudier l'organisation en profondeur de ce même *limes* avec ses voies de communication, ses postes fortifiés, les villages de colonisation où vivaient, en dehors des périodes d'alerte, les soldats chargés de la défense de la frontière [2]. Ce travail complète les résultats obtenus auparavant en Syrie par le Père Poidebard dans le même domaine [3].

L'interprétation

Ces divers exemples, dont la liste pourrait être facilement augmentée, donnent une idée de la diversité des vestiges que peut révéler l'étude approfondie des couvertures aériennes. Il ne faudrait pas croire cependant que celles-ci livrent toutes leurs richesses sans que l'interprétateur ait

1. J. Bradford, « Etruria from the air », *Antiquity*, juin 1947, pp. 74-83.
2. J. Baradez, *Fossatum Africae*.
3. A. Poidebard, ouvrages cités.

subi une formation préalable et ait acquis une expérience suffisante en la matière, ni sans qu'il ne se soumette à l'emploi de quelques techniques d'interprétation simples mais indispensables. Les auteurs qui utilisent la méthode de prospection aérienne de la façon la plus courante ont souvent mis les chercheurs en garde à ce sujet : on ne regarde pas une photographie aérienne, on la confie a un spécialiste utilisant les appareils les mieux appropriés techniquement, écrit J. Baradez, tandis que J. Bradford remarque que la somme d'informations qu'un interprétateur peut tirer d'une photo aérienne est directement proportionnelle à son expérience ; cette dernière dépend à son tour de l'expérience technique qu'à l'interprétateur des photos aériennes en tant que document et de sa connaissance du sujet étudié.

Parmi les techniques d'interprétation, la plus indispensable est sans aucun doute l'examen stéréoscopique, qui permet la reconstitution du relief des zones photographiées. Celui-ci ne nécessite l'utilisation que de clichés pris en bandes et se recoupant à environ 60 %, et d'un stéréoscope. Il existe de cet appareil de très nombreux modèles, mais dont les plus simples, à la fois pratiques et peu coûteux, donnent déjà d'excellents résultats. Des modèles plus perfectionnés permettent, s'il est nécessaire, d'obtenir le grossissement de l'image et une exagération du relief donnant la possibilité de déceler des différences de hauteur de valeur infime. L'Institut géographique national a édité des plaquettes permettant de s'initier à l'utilisation de ces appareils [1].

Muni du matériel nécessaire, l'interprétateur abordera l'étude analytique de chaque photographie, dont chaque point doit être examiné avec soin à la loupe et au stéréoscope. Chaque détail paraissant intéressant devra être porté immédiatement sur un calque, puis sur un plan d'ensemble à grande échelle qui permettra l'étude synthétique des vestiges anciens identifiables dans la zone étudiée. Les sites dont l'examen au sol, et éventuellement la fouille, paraîtront intéressants, feront chacun l'objet d'une fiche détaillée, accompagnée d'un calque ou d'un plan agrandi dont l'échelle exacte sera calculée.

Les plans photographiques et la publication

La période de prospection terminée, et celle du travail sur le terrain en prenant la suite, le rôle que peut jouer la photographie aérienne n'en n'est pas pour autant épuisé, et celle-ci sera d'un grand secours à l'archéo-

1. I. G. N., *Note sur l'examen stéréoscopique des photographies aériennes*, Paris, I. G. N., 1949.
HORLAVILLE, *L'emploi des stéréogrammes dans la recherche archéologique*, Paris, I. G. N., 1949.
P. CHOMBART DE LAUWE, *Photographies Aériennes Généralités, Méthode, l'étude de l'homme sur la terre*, Paris, A. Colin, 1951, chap. II.

logue pour lui indiquer avec précision les points à sonder où à fouiller. S'il dispose de photographies aériennes verticales prises en période favorable et à une échelle suffisamment grande, l'emplacement exact des vestiges même non apparents pourra être calculé avec une précision suffisante pour éviter aux fouilleurs tous tatonnements; ils pourront de la sorte aborder d'emblée les points *a priori* les plus intéressants du site à étudier. Pour ce, il sera souvent nécessaire de faire exécuter une mission photographique spéciale à basse altitude sur le site que l'on désire fouiller, les couvertures à petite échelle pouvant ne pas livrer toutes les indications qu'on est en droit d'espérer.

C'est ainsi que les photographies à très basse altitude des camps anglais de l'âge du fer ou des villages néolithiques d'Apulie révèlent non seulement l'emplacement des fonds de cabane et enclos, mais même les fonds de silos qui en raison de leurs faibles dimensions risquent de ne pas être décelables sur une photographie à haute altitude. De même en certains cas, l'emplacement de structures anciennes en bois peut être révélée par la trace des trous de poteaux soutenant les charpentes, qui se marquent sur photographies à très grande échelle uniquement (cas des *wood-henges* anglais).

La fouille une fois entreprise et guidée par le plan préalable que constitue, si les circonstances sont favorables, la photographie aérienne, il importe, surtout dans le cas fréquent où diverses structures appartenant à des périodes différentes se trouvent superposées, d'enregistrer graphiquement et photographiquement les divers moments des travaux, chaque horizon devant irrémédiablement être détruit pour obtenir la connaissance des niveaux sous-jacents. Or l'enregistrement photographique de l'état de surfaces étendues peut poser de délicats problèmes. De toute façon, pour une fouille stratigraphique par décapages, la vue verticale est de loin la plus utilisable de toutes; or, l'emploi d'échelles ne permet jamais que de couvrir une surface limitée. Ici encore, l'emploi de l'avion ou d'un appareil à voilure tournante pourra rendre de grands services aux fouilleurs. L'utilisation à intervalles fréquents de missions photographiques étant malheureusement assez onéreux, signalons qu'on a dans certains cas remplacées celles-ci par l'emploi d'un ballon captif porteur d'un appareil photographique. De très nombreuses et suggestives vues verticales des fouilles de l'important village de l'âge du fer de Biskupin, en Pologne, ont pu ainsi être prises aux différents stades des travaux de dégagement.

La possession de photographies aériennes verticales de l'ensemble d'un site archéologique offre un intérêt tel que certains préhistoriens ont même cherché à rendre photographiables d'avion des sites qui normalement ne sont pas visibles à celui qui les survole. C'est ainsi que J. J. Pittard a réussi à obtenir des clichés d'une palaffitte du lac de Genève immergée sous plusieurs mètres d'eau et parfaitement invisible, en faisant reconnaître par des scaphandriers les emplacements de pilotis, puis immerger au-dessus de ceux-ci des repères peints de couleur voyante, et photographier l'ensemble par avion. La méthode peut paraître compliquée,

mais en l'occurrence il n'existait aucun moyen plus pratique pour obtenir un plan publiable de la station [1].

D'une façon plus générale d'ailleurs, la possession de photographies aériennes verticales d'un site permet d'en dresser le plan avec infiniment plus de facilité et de sécurité que toute autre méthode de relevé topographique. Ce n'est ici que l'application dans le domaine limité de l'archéologie des méthodes utilisées aujourd'hui quotidiennement sur une grande échelle par les services cartographiques du monde entier. Nous nous dispensons d'insister sur les procédés employés (restitution, etc.), en renvoyant à des études plus générales sur la question [2].

La fouille terminée, reste la publication, et de plus en plus préhistoriens et archéologues font appel à la photographie aérienne pour illustrer leurs travaux. Certes, la publication de plans demeure une nécessité indispensable ; mais ceux-ci n'expriment en définitive que ce que celui qui les a dressés a su voir, et leur valeur en tant que document reste toujours entachée d'un certain coefficient personnel. La publication de photographies aériennes permet d'éliminer ce défaut en offrant à côté du document élaboré le document brut. D'autre part, si la publication de photographies laisse place à la possibilité d'une utilisation ultérieure plus poussée des matériaux apportés, il est hors de doute qu'elle peut aussi apporter beaucoup moins que ce que le fouilleur a pu apprendre de son site par un contact intime avec le terrain. Aussi photographies et plans doivent-ils être publiés conjointement, si possible à la même échelle et côte à côte, comme l'a réalisé systématiquement Crawford dans sa monographie aérienne du Wessex préhistorique [3]. Une formule particulièrement heureuse consiste à publier le plan sur calque superposé à la photographie aérienne ; le travail de J. Baradez sur le *limes* de Numidie offre d'excellents exemples d'une telle méthode. Ce n'est que dans certains cas exceptionnels que la photographie aérienne peut se suffire à elle-même, comme par exemple pour des ensembles mégalithiques bien dégagés et apparents tels que les alignements de Carnac ou le cercle d'Avebury.

Par contre, on ne dispose encore d'aucune méthode de publication pratique permettant d'offrir la vision du relief. Il est certes facile de publier des couples stéréoscopiques montés, mais leur utilisation suppose de la part du lecteur la possession d'un stéréoscope, ce qui ne se trouvera que rarement réalisé. La publication de vues aériennes en anaglyphes,

1. J. J. Pittard, « Une nouvelle station lacustre dans le lac de Genève (station de la Vorze) — Technique de recherches », *Archives suisses d'Anthropologie générale*, VIII, 1938, pp. 16-30.

2. J. Hurault, *Eléments de photogrammétrie*, Paris, I. G. N., 1949.

H. T. U. Smith, *Aerial photographs and their application*, New-York et Londres, D. Appleton-Century, C^e, 1943.

3. O. G. S. Crawford, *Wessex from the air*, Oxford, Clarendon Press, 1928, p. 163, fig. 61, pl. 50.

en joignant des lunettes colorées à l'ouvrage, expérimentée en Allemagne, ne semble pas extrêmement pratique.

***

Nous avons essayé jusqu'ici de mettre en relief les possibilités offertes par la photographie aérienne à l'archéologie, et elles sont importantes. Il est toutefois nécessaires de poser également les limites de cette méthode et de ne pas passer sous silence les causes d'erreurs ou d'échecs possibles.

Les possibilités d'échecs dues à l'utilisation de documents pris sans tenir compte des nécessités d'échelle, d'éclairage, de maturité des cultures, ont déjà été soulignées. Celles-ci peuvent être éliminées avec quelque expérience. C'est également le cas des difficultés d'interprétation, qui ne sont pas négligeables pour une personne insuffisamment entraînée. Il est facile en effet de prendre pour des fonds de cabane les cercles de champignons qui se marquent très fréquemment dans les prés, les anciens emplacements de meules ou de silos, les sources, les traces de bombardements. Dans les régions où l'influence du climat glaciaire s'est fait sentir au quaternaire, les lignes de fractures provoquées par la gelée et remplies postérieurement d'apports superficiels, ne doivent pas être pris pour les restes d'ouvrages dûs à l'homme. On pourrait multiplier de tels exemples.

Restent des facteurs d'échec sur lesquels la qualité du personnel utilisant la recherche aérienne n'a plus de prise, et qui sont imputables, soit à la nature du sol, soit au climat et à la végétation de certaines régions. La grande forêt ne permet de déceler sous son manteau opaque que des vestiges importants, telles les villes mortes du Mexique, des Andes ou d'Indochine, mais les sites mineurs n'y sont pas identifiables. Les régions les plus favorables à l'emploi de la détection aérienne sont ceux à végétation peu fournie. Il est significatif que les meilleurs résultats aient été obtenus d'une part dans les régions périméditerranéennes (Proche-Orient, Afrique du Nord, Italie), d'autre part en Angleterre, régions à végétation peu abondante par rapport à l'Europe moyenne (France, Europe centrale), où au contraire les découvertes sont moins nombreuses et moins spectaculaires. Pour les vestiges nivelés, les facteurs géologiques et pédologiques présentent une grande importance. Il y a peu à attendre des régions à sol sableux ; les sols calcaires sont ceux qui sont susceptibles de conduire aux meilleurs résultats, pour peu qu'ils soient revêtus d'une légère couverture de limon ; moins favorables par contre semblent les épais manteaux de loess, où la fertilité du sol superficiel et celle du sol profond offrent peu de différences appréciables.

Il sera donc bon, avant de faire exécuter une mission aérienne pour détecter des vestiges anciens, d'examiner avec une personne compétente si les conditions se présentent favorablement, et en tout état de cause

d'étudier préalablement les photographies déjà existantes de la région à prospecter.

Soulignons enfin que la technique photographique aérienne est actuellement en évolution continuelle, et que tout permet de penser que l'archéologie bénéficiera également des progrès qui pourront être réalisés en ce domaine. Des sites impossibles à déceler aujourd'hui en raison de conditions défavorables pourront peut-être l'être facilement d'ici quelques années. Les expériences relatives à l'utilisation de filtres, l'utilisation de pellicules infra-rouges ou ultra-violettes offrent des champs d'étude nouveaux qui commencent à être prospectés. Il est hors de doute qu'un bel avenir reste encore réservé à l'archéologie aérienne. [1]

G. Bailloud, Musée de l'Homme Paris, et

P. Chombart de Lauwe

Chargé de Recherches au Centre National de la Recherche Scientifique.

1. Voir appendice p. 308-309

CHAPITRE II

MÉTHODES ÉLECTRIQUES DE PROSPECTION EN ARCHÉOLOGIE

On sait depuis longtemps que la terre est conductrice d'électricité et que le degré de conductivité de l'écorce terrestre varie d'un point à l'autre selon la nature des roches qui la composent. En se basant sur ce fait on a mis au point différentes méthodes permettant d'étudier la structure géologique de la terre et servant en particulier à déterminer l'emplacement de filons de métal ou de nappes de pétrole. Ces méthodes, en raison de leur intérêt commercial, ont surtout été employées par les ingénieurs des mines et par les prospecteurs de pétrole, quoique, dans des limites beaucoup plus restreintes, des géologues et des géophysiciens les aient aussi utilisées pour des recherches d'ordre purement théorique.

Ces méthodes électriques de prospection peuvent être divisées en deux grands groupes. Le premier comprend des techniques mises au point pour la détection de tel ou tel filon minéral, métalliière surtout, ayant des caractéristiques électriques bien définies ; elles n'ont guère d'applications possibles en archéologie. Les méthodes du second groupe ne sont plus seulement utilisables pour la recherche de tel ou tel minéral déterminé, mais pour des recherches d'ordre plus général sur la structure de l'écorce terrestre.

Ces méthodes ont pour base la mesure des variations de la conductivité électrique du sol, variations qui sont elles-mêmes fonction des variations de sa structure physique. Elles ont surtout été étudiées et développées en France par Schlumberger et ses collaborateurs, aux Etats-Unis par Gish et Rooney, en Allemagne par Koenigsberger et, dans l'Empire Britannique par l'Impérial Geophysical Experimental Survey.

Quoique ces techniques soient employées avec succès sur une grande échelle depuis vingt ans au moins pour des recherches géophysiques d'intérêt commercial, leur application à l'archéologie est toute récente et encore dans sa phase expérimentale. C'est en 1946, en Angleterre, que l'auteur essaya pour la première fois d'appliquer l'une de ces méthodes, basée sur l'*étude de la résistivité* du terrain à prospecter, aux fouilles d'un site néolithique à Dorchester, près d'Oxford ; depuis cette date il effectua avec succès d'autres essais dans d'autres sites. Une seconde méthode, basée sur l'*étude des lignes équipotentielles*, fut employée au Mexique en 1947 et contribua à la découverte de l'homme de Tepexpan ; malheureu-

sement les résultats de ces recherches n'ont pas encore fait l'objet d'une publication détaillée. Il semble que nulle part ailleurs jusqu'ici ces méthodes n'aient été utilisées pour la prospection archéologique.

Principes généraux et méthodes

Les roches et les éléments minéraux qui forment les couches supérieures de l'écorce terrestre, minerais mis à part, ne sont pas eux-mêmes conducteurs d'électricité. Leur conductivité dépend de l'eau chargée de sels minéraux en dissolution qui les pénètrent tous en plus ou moins grande quantité. La quantité d'eau contenue dans les différents dépôts géologiques ou archéologiques varie, grossièrement parlant, en fonction de la densité et de la taille des particules qui les composent. Ainsi la couche supérieure, ou sol, étant composée de fines particules qui laissent entre elles des interstices nombreux mais très petits contient un volume d'eau relativement plus grand que des sables ou des graviers composés d'éléments beaucoup plus gros et moins étroitement serrés d'où l'eau peut facilement s'écouler. De même la pierraille, qui remplit généralement les fossés d'un site archéologique, retient moins d'eau, à volume égal, que les roches dont elle s'est détachée, qui sont sillonnées de minces fissures remplies d'eau.

A ces variations dans le degré d'imbibition correspondent des variations de la conductivité électrique et de la résistance. (La résistance électrique est l'inverse de la conductivité. Une substance très conductrice a une résistance très minime, et une substance peu conductrice a une grande résistance). Ainsi à des différences de structure physique, que celles-ci soient dues à des dépôts successifs par la nature de couches distinctes (comme dans les sites géologiques glaciaires ou postglaciaires). ou au bouleversement de sa surface par l'homme (terrassements divers, murs, sols, routes, puits, fossés, etc.), correspondent toujours des différences de la conductivité électrique et de la résistance.

En mesurant ces différences électriques avec les instruments convenables, il devient possible, en théorie au moins, de les rattacher aux différences physiques qui en sont la cause. Dans des conditions favorables, les rapports entre les caractères physiques et électriques d'un terrain peuvent être si étroits qu'il est possible, à partir des mesures électriques, de localiser les aires de bouleversement caractéristiques d'un site archéologique avec une très grande précision.

On peut mesurer de plusieurs façons les différences de la conductivité électrique et de la résistance d'un terrain, mais, comme nous le disions plus haut, seules deux méthodes jusqu'ici ont été utilisées pour la prospection archéologique.

Méthode des lignes équipotentielles

Cette méthode fut employée au Mexique par ceux qui découvrirent l'homme de Tepexpan. Sur les côtés opposés de la surface du terrain à étudier, on installe deux longues électrodes parallèles. Ces électrodes sont faites de fil de cuivre nu, et solidement fixées au sol par des piquets de cuivre ou d'acier placés à intervalles rapprochés ; ils sont reliés aux bornes d'un générateur à courant alternatif de façon à ce que le courant passe à travers le terrain à étudier. Dans un milieu homogène idéal le flux du courant suivrait des lignes droites de n'importe quel point d'un électrode au point correspondant de l'électrode opposé ; la chute du potentiel électrique serait uniforme d'un électrode à l'autre et il serait possible de tracer sur la surface comprise entre les électrodes un certain nombre de lignes équipotentielles, régulièrement espacées et parallèles aux électrodes, chaque point de la même ligne ayant le même potentiel.

Dans un terrain bouleversé où la conductivité varie d'un endroit à l'autre, les lignes équipotentielles ne seraient plus droites ni parallèles aux électrodes, mais elles se contorsionneraient, se rapprochant là où la conductivité est basse, s'écartant là ou elle est élevée.

En pratique les lignes équipotentielles sont tracées sur le terrain compris entre les électrodes par un observateur muni de deux électrodes ponctuelles (baguettes de cuivre ou d'acier) et d'un amplificateur et d'un casque qui y sont reliés. Une électrode est fixée dans le sol, l'autre, mobile, est enfoncé de place en place. Tant que ces deux électrodes ne reposent pas sur la même ligne équipotentielle, elles restent à des potentiels différents et par suite un courant s'établit entre eux, déterminant une note que l'on entend dans le casque. L'observateur essaie de trouver un point pour lequel aucun bruit (ou un bruit négligeable) n'est plus perçu : les deux électrodes sont alors au même potentiel et sont situées sur la même ligne équipotentielle. On fixe la seconde électrode dans le sol à l'endroit où elle se trouve, et la première est à son tour déplacée pour déterminer un troisième point de même potentiel. Les lignes équipotentielles sont notées sur toute la surface de l'aire à étudier et reportées sur un plan. De l'ensemble des lignes ainsi déterminées on peut alors déduire la position des structures ou des couches qui ont causé les variations dans la conductivité.

Trop peu d'essais ont encore été tentés par cette méthode sur des sites archéologiques pour pouvoir dire si elle est réellement utilisable pour la détection des structures préhistoriques. Par rapport à la seconde méthode décrite plus bas, elle semble cependant présenter quelques désavantages. Les uns sont d'ordre matériel : le matériel nécessaire qui comprend un lourd générateur et son chariot et plusieurs centaines de mètres de fil

est fort encombrant ; il ne peut guère être utilisé sur des terrains cultivés où il est presque impossible de dérouler en ligne droite des électrodes de plusieurs centaines de mètres de long et écartées également de plusieurs centaines de mètres. Les autres sont d'ordre plus théorique : l'interprétation des résultats est difficile, car la méthode ne permet pas de contrôler avec rigueur la profondeur à laquelle est mesurée la conductivité du sol, et par suite des différences minimes de conductivité, dues à des structures archéologiques de surface, peuvent être entièrement masquées par des effets plus puissants des formations géologiques sous-jacentes.

La méthode cependant mérite de nouveaux essais. Les résultats qu'elle a donnés au Mexique suggèrent qu'on pourrait surtout l'employer pour la prospection des sites glaciaires et postglaciaires dans lesquels les dépôts s'étalent sur de grandes étendues et sont surtout d'origine naturelle.

Carte des résistivités

Cette méthode a été utilisée avec succès en Angleterre par R. J. C. Atkinson [1].

La meilleure façon de la comprendre est de se référer à la figure 1. L'appareil employé comprend un générateur de courant électrique, un instrument pour mesurer la résistance du circuit auquel il est appliqué et quatre électrodes (baguettes d'acier de 1 cm. de diamètre et de 1 mètre de long) reliées au générateur par des fils isolés. La planche VII montre l'appareil installé en ordre de marche.

A intervalles réguliers, le long d'une ligne droite, les électrodes sont solidement enfoncées dans le sol jusqu'à une profondeur de 20 cm. environ (fig. 1, 1-4). A l'aide d'une manivelle fixée sur l'appareil et que l'on tourne à une vitesse constante, on engendre un courant qui passe à travers les deux électrodes extérieures (1 et 4) et le terrain qui les sépare. On engendre ainsi une différence de potentiel électrique entre les électrodes 1 et 4, et donc une différence moins importante entre les électrodes intermédiaires 2 et 3. Une partie du courant total parvient jusqu'à l'appareil par l'intermédiaire des électrodes 2 et 3. Le rapport entre ces deux courants est mesuré automatiquement et indiqué par l'aiguille d'un cadran gradué situé sur le dessus de l'appareil. Ce rapport représente la mesure de la résistance moyenne d'un volume donné de terrain, généralement une hémisphère dont le centre est situé au point central des quatre électrodes et dont le rayon est égal à la distance qui les sépare (fig. 1, A, *a*).

1. Les détails de son application en archéologie n'ont encore été publiés nulle part, aussi a-t-il semblé intéressant d'en donner ici une description complète, plus détaillée que ne le comporte habituellement un ouvrage de ce genre.

En pratique on choisit une ligne sur le terrain le long de laquelle on déroule un ruban gradué (double décamètre). Les quatre électrodes sont solidement fixées dans le sol à des intervalles égaux le long de cette ligne

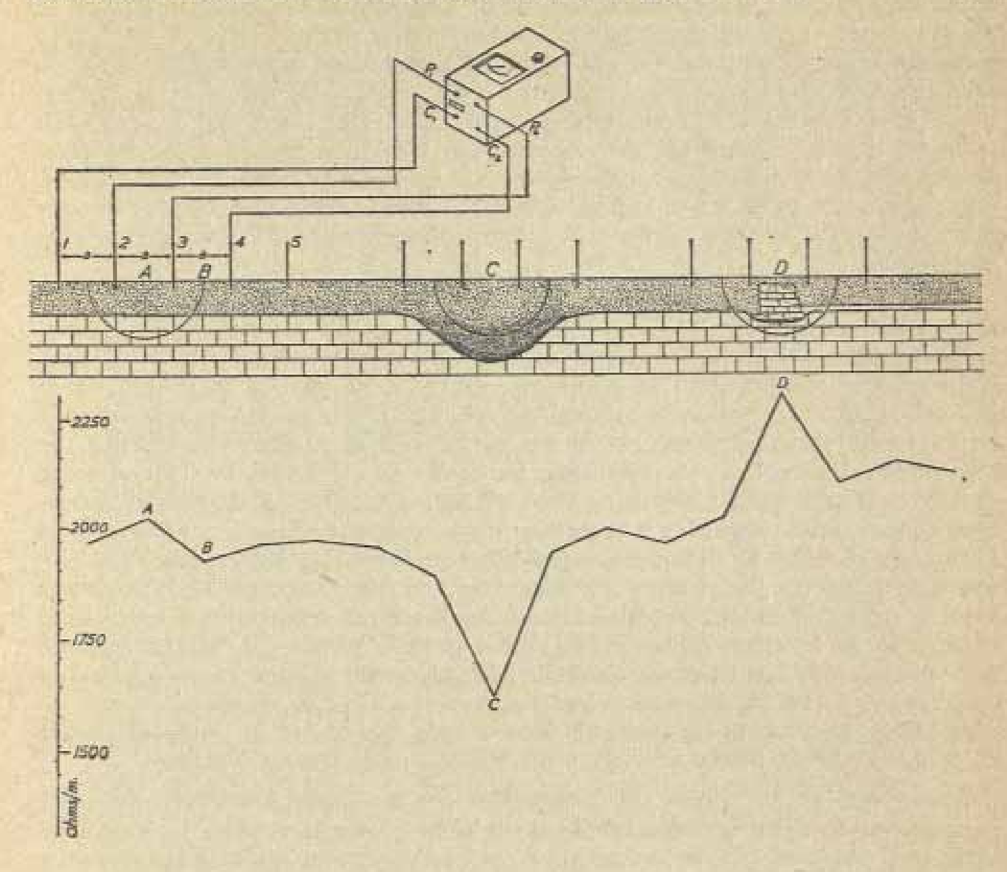


FIG. 1. — *Etablissement d'une carte de résistivités.*
En haut l'appareil en place et le terrain à prospecter, en bas carte des résistivités correspondantes.

et reliées à l'appareil, chacun à sa borne respective par des fils isolés (fig. 1). Quand on tourne la manivelle, l'aiguille tourne sur le cadran gradué et s'arrête à un chiffre représentant la valeur de la résistance. On note cette valeur pour la première position (fig. 1, A). L'électrode 1 est déplacée en 5, les quatre fils sont rattachés à l'appareil dans le même ordre, et une seconde lecture est faite au point B. On procède ainsi de mesure en mesure, de façon à obtenir une ligne continue de lectures à des intervalles qui sont égaux à la distance séparant deux électrodes. Pour faciliter l'échange des fils d'une électrode au suivant après chaque lecture, chacun d'eux est muni d'une pince « crocodile » qui s'accroche aisément sur l'électrode.

Les valeurs lues sur le cadran sont données en ohms, l'unité de résistance électrique. Comme la résistance apparente d'une fraction donnée de terrain varie en fonction de la distance des électrodes, il est indispensable de réduire les lectures à une unité commune. On multiplie alors la résistance mesurée en ohms par la distance entre deux électrodes (fig. 1, a) mesurée en centimètres. Le chiffre ainsi obtenu est une unité d'ohm au centimètre et représente la résistance d'un centimètre cube de matériau, mesurée à travers les faces opposées du cube. Par exemple, si la valeur indiquée sur le cadran est de 180 ohms et que la distance entre les électrodes soit de 1 mètre, la résistance du sol en ce point sera de 18.000 ohms par centimètre cube. Ce calcul est indispensable lorsque l'on veut comparer deux séries de chiffres obtenus à partir d'intervalles différents entre les électrodes.

Les valeurs sont reportées en graphique sur du papier millimétré dont la lecture permet de déduire, des changements de résistance, les variations du sous-sol qui les ont provoqués. La figure 1 représente le schéma d'un terrain prospecté et le graphique correspondant. En A et B le sous-sol est intact. Le volume mesuré est constitué en partie par la couche superficielle (basse résistance) et en partie par la roche sous-jacente (de très haute résistance) : la résistance moyenne en cet endroit est donc assez élevée et à peu près uniforme, avec quelques variations de peu d'importance dues aux inégalités naturelles dans la composition du sol et de la roche. En C tout le volume mesuré est constitué par le remplissage d'un fossé sous-jacent, de la terre surtout, très humide : la résistance moyenne tombe brusquement et l'emplacement du fossé est marqué par une chute brutale de la courbe. Mais en D la plus grande partie du volume mesuré est occupée par les ruines d'un mur, de haute résistance : en ce point la courbe se relève rapidement pour retomber à droite, de l'autre côté du mur, tout en restant cependant plus élevée que pour le sous-sol intact en A par suite de l'existence d'un ancien sol actuellement enseveli.

L'appareil utilisé pour ces recherches est un potentiomètre ordinaire conçu pour mesurer les résistances de la terre. Pour la prospection archéologique il est pratique de se munir d'un commutateur spécialement conçu par R. J. C. Atkinson, qui, grâce à une électrode additionnelle permet des lectures beaucoup plus rapides. Les cinq électrodes sont reliées en permanence à l'appareil. Dès que la lecture faite pour les électrodes 1 à 4 (fig. 1) est relevée, le commutateur relie les électrodes 2-5 dans le bon ordre, isolant le numéro 1 qui est alors transporté dans la position 6 par un assistant tandis que s'effectue la seconde lecture. De cette manière on arrive à faire une lecture toutes les 10 ou 15 secondes. Le commutateur spécial et l'électrode additionnelle sont représentés planche VII.

Le choix des lignes le long desquelles vont être effectuées les mesures de résistance dépend de la nature du site à examiner. En général, quand on possède déjà des indications de surface, ou des photos aériennes donnant une idée approximative des sub-structures à étudier, il suffit de

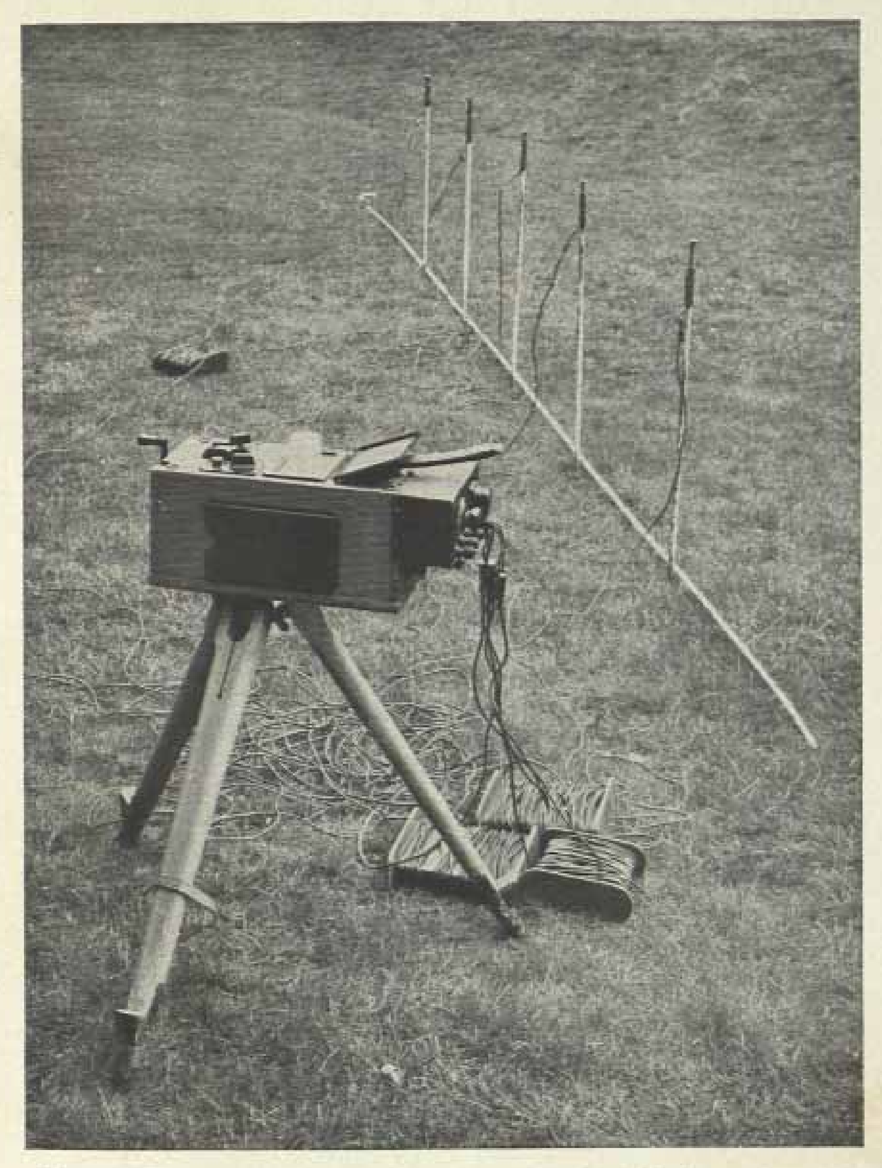


PLANCHE VII — *Appareil utilisé pour dresser les cartes de résistivité. On voit à gauche la manivelle qui sert à engendrer le courant. A droite le commutateur inventé par* R. J. C. ATKINSON *et mentionné p. 64. Au pied de l'appareil, bobines de bois sur lesquelles sont enroulées les parties inutilisées des fils isolés. Ces fils sont rattachés à l'appareil d'une part et de l'autre aux cinq électrodes d'acier que l'on voit piqués en terre le long du ruban gradué.*



PLANCHE VIII — *Appareils détecteur de mines. A. - Utilisation en terrain boisé.*

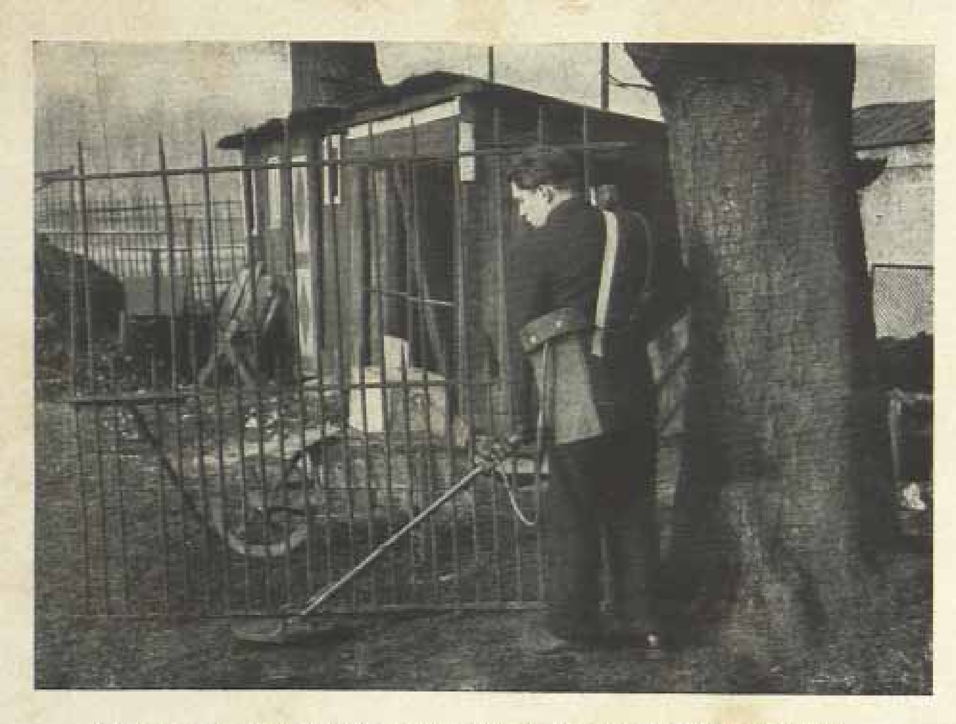


PLANCHE VIII — *Appareils détecteur de mines. B. - Utilisation en terrain découvert.*
Clichés L.M.T

déterminer quelques lignes à peu près perpendiculaires aux principaux vestiges (fossés, murs, remparts, routes) et de localiser ainsi leur position exacte d'après les courbes de résistance. Quand il n'y a ni indication de surface, ni photographie aérienne, ou lorsque des détails très précis sont nécessaires, on couvre la surface à étudier d'un réseau de lignes parallèles, assez proches les unes des autres, de façon à obtenir des indications de résistance à intervalles égaux et rapprochés sur toute la surface du site. On relie ensuite sur le plan toutes les lignes d'égale résistance, à la façon dont on dessine des cartes de niveau, et on interprète à partir du schéma ainsi obtenu. Dans de bonnes conditions on peut arriver à des résultats d'une surprenante exactitude.

Emploi et limites de la méthode

Les diverses opérations décrites ci-dessus sont extrêmement simples et peuvent être exécutées par n'importe qui après un minimum d'entraînement pratique pour la manipulation de l'appareil. Par contre l'interprétation des courbes obtenues est plus difficile et demande de l'expérience et du jugement. Outre ces questions personnelles, le succès de la méthode dépend de trois facteurs : 1° la nature des sub-structures et celle de la roche ou des dépôts dans lesquels elles se trouvent, 2° le choix d'une distance convenable entre les électrodes, et 3° le choix des meilleurs positions pour effectuer les lectures.

En général la méthode se révèle utile surtout lorsque la couche superficielle est composée de terre fine, sans trop de cailloux ni de débris divers de rocher, et qu'elle n'a pas plus de 1 m. 25 de profondeur, lorsque le sous-sol est homogène et lorsque les vestiges archéologiques (fosses, fossés, murs, routes) sont bien délimités et isolés les uns des autres. Les meilleurs sous-sols sont le gravier, le sable, l'argile, la tourbe, la craie et certains types de grés et de roches calcaires et volcaniques. Dans certains sous-sols comme les sables ou les graviers glaciaires, l'interprétation des courbes est difficile, et il en est de même pour certains types de roches altérées dans lesquelles des variations naturelles de densité et la présence de poches d'argile ou d'autres matériaux naturels provoquent des variations de résistance pratiquement indicernables de celles dues à des causes archéologiques. Dans les sites où le roc affleure jusqu'à 15 ou 20 cm. de la surface, les électrodes ne peuvent être fixés dans le sol et la méthode est impossible. On obtient les meilleurs résultats là où les structures archéologiques sont de grande taille par rapport à l'intervalle utilisé entre les électrodes (minimum 1 mètre) ; dans de bonnes conditions cependant il a été possible de déterminer avec exactitude la position de fosses et de fossés mesurant seulement 0,6 m. de diamètre et 1 m. de profondeur sous la surface du sous-sol.

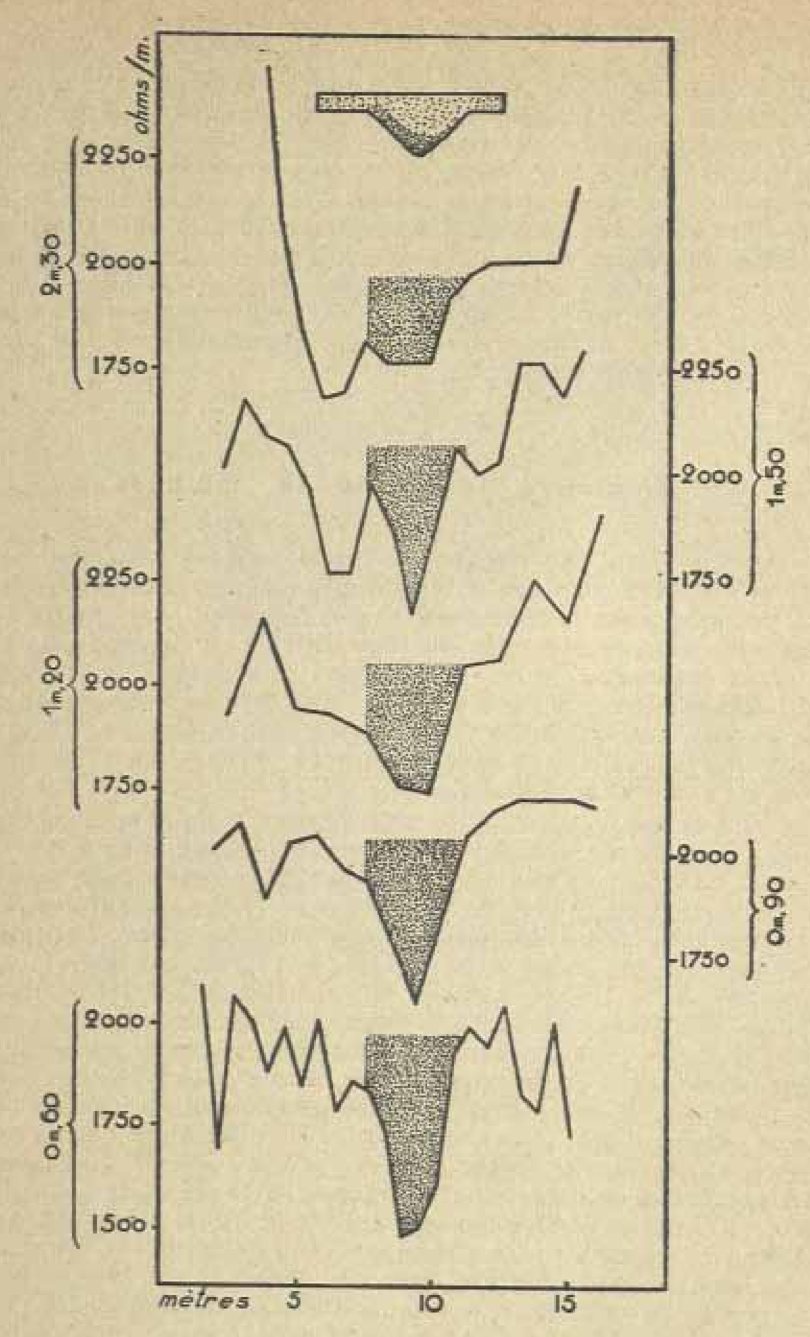


Fig. 2. — *Différents graphiques obtenus à partir d'un même site en variant la distance entre les électrodes.*

Le choix du meilleur intervalle entre les électrodes doit varier selon les structures à étudier et demande une certaine expérience. D'une façon générale on peut dire que cet intervalle ne doit pas être inférieur à l'épaisseur de la couche superficielle et de préférence de 50 à 100 % plus grand. Les courbes de la figure 2 furent obtenues à partir d'un fossé enseveli dont la largeur et la profondeur mesurées à la surface du sous-sol étaient de 3 m. 50 et de 1 m. 50 et dont le profil est représenté au haut de la figure.

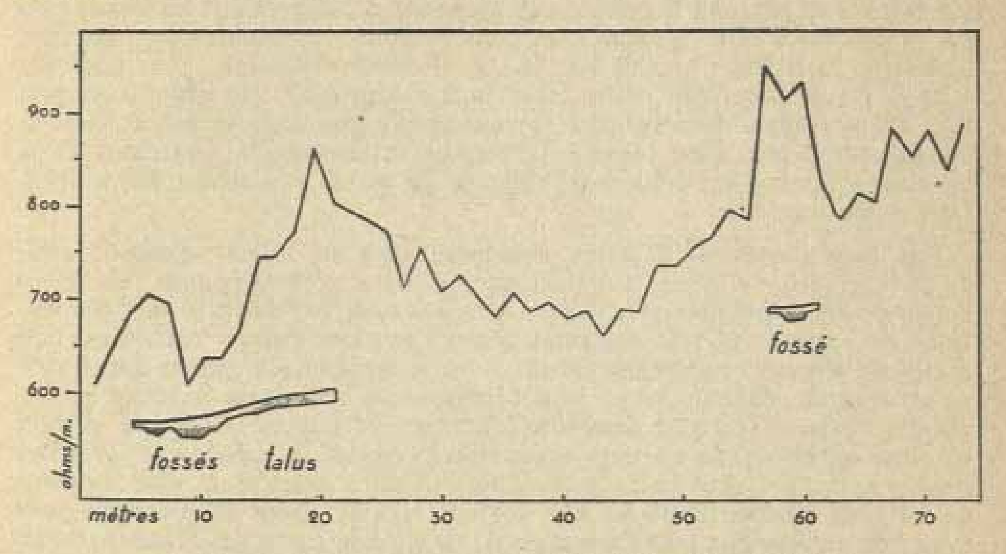


Fig. 3. — *Graphique obtenu en mesurant les résistivités d'un terrain au-dessus de fossés et de talus ensevelis de l'âge de Fer. Sous le graphique et à leurs places respectives sont indiqués les profils de ces fossés et talus.* (Rams Hill, Berkshire, Angleterre.)

Les intervalles utilisés furent 0,6, 0,9, 1,2, 1,5 et 2,3 mètres et les cinq séries de lecture furent prises le long de la même ligne. On voit que les deux courbes inférieures montrent exactement la position et la largeur du fossé (la largeur du fossé est indiquée par le pointillé). Dans la troisième courbe (1,2 mètre) la largeur apparente est exagérée, tandis que dans les deux courbes supérieures une dépression apparaît sur la gauche qui n'a aucun rapport avec les structures archéologiques. Dans ce site, la profondeur de la couche superficielle, là où elle était intacte, était de 0, 6 mètre. On voit qu'il peut être utile dans certains cas d'effectuer des séries de mesures le long des mêmes lignes en plaçant les électrodes à des intervalles différentes et en comparant les courbes de résistance ainsi obtenues.

Il ne faut pas oublier que la forme de la courbe de résistance ne correspond pas toujours avec précision à la forme réelle, ou profil, des structures ensevelies. Une petite fosse remplie de terre fine et humide aura une résis-

tance beaucoup plus basse qu'un très grand fossé rempli de pierrailles grossières et relativement sèches. Et même lorsque le sous-sol est homogène, le rapport entre l'intervalle des électrodes et la profondeur des vestiges peut affecter la forme de la courbe de résistance. La figure 3 montre une courbe obtenue sur une série de fossés creusés dans la craie à Rams Hill, dans le Berkshire, Angleterre. Le profond fossé d'un camp de l'âge du Fer et sa banquette intérieure sont représentés respectivement sur la courbe par une dépression et un sommet ; cependant les fossés plus petits de droite et de gauche sont tous les deux représentés par des pics. C'est que la mesure portait sur une profondeur suffisante pour englober tout le remplissage des petits fossés qui comprenait une grande proportion de pierrailles de résistance élevée, tandis que dans le grand fossé la mesure n'est pas allée jusqu'à la couche inférieure de pierrailles et la résistance relevée est seulement celle de la partie supérieure du remplissage, plus humide.

Les expériences déjà faites montrent bien la valeur exceptionnelle de cette méthode pour la détection des sites archéologiques, en particulier de ceux qui ne peuvent être localisés avec précision ni par des vestiges de surface, ni par des sondages, ni par des photos aériennes. Elle a été utilisée sur une grande échelle pour la localisation exacte d'une série de structures néolithiques ou plus tardives que l'on avait repérées à Dorchester, près d'Oxford, dont on n'apercevait aucune trace en surface et dont on ne connaissait qu'approximativement la position d'après des photos aériennes. Avant les fouilles on parvint à situer et à faire les plans de 10 sites indépendants les uns des autres avec assez de précision pour éviter de creuser des tranchées d'essai. Grâce à la carte des résistances, on put noter sur le terrain tous les points à fouiller, et la fouille put être menée sans aucun sondage préalable. La figure 4 montre le degré de précision obtenu dans ces conditions. Les surfaces pointillées correspondent au plan d'un site néolithique tel qu'il avait été dressé à partir d'une carte des résistances établie six mois avant le début des fouilles ; les lignes pleines correspondent aux limites des fossés et des fosses découverts par la suite. La position du centre du fossé extérieur, à partir duquel les travaux furent commencés, avait été calculée avec une erreur de moins de 2 %.

On a aussi employé avec succès cette méthode pour résoudre de nombreux autres problèmes. De brusques interruptions dans un long fossé néolithique qui n'étaient que très faiblement indiquées par les photos aériennes, furent localisées pour les fouilles en exécutant une série de lectures tout le long de l'axe du fossé et en notant les points auxquels la résistance augmentait brusquement. La position des murs extérieurs d'une villa romaine à Northleigh, près d'Oxford, fut exactement déterminée en exécutant de courtes séries de lectures le long de lignes approximativement perpendiculaires à la direction présumée des murs. Des routes romaines ont été localisées et leur largeur mesurée en divers points

aux environs d'Oxford. Des essais faits sur les levées de terre qui entourent la ville de Cricklade, Wiltshire, datant probablement de l'époque des invasions, firent supposer la présence dans le talus d'un mur de pierre

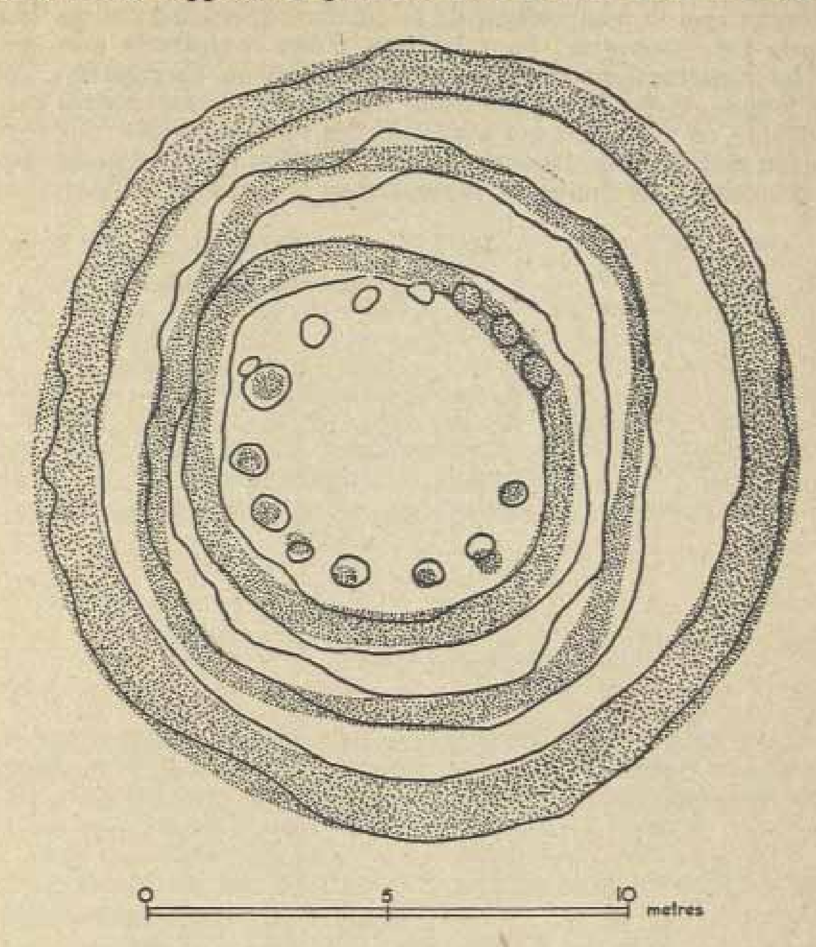


FIG. 4. — *Plans superposés d'un site néolithique. Le plan en pointillé a été établi d'après une carte de résistivités du terrain, celui en lignes pleines d'après des fouilles exécutées six mois plus tard.* (Dorchester, près d'Oxford.)

dont on n'avait jamais auparavant soupçonné l'existence. Plus tard des fouilles confirmèrent l'existence de ce mur. On dressa aussi la carte des résistivités d'un terrain côtoyant le cimetière anglo-saxon de Farthing Down à Croyden, Surrey, dans lequel on pensait qu'il pouvait y avoir des tombes additionnelles. La carte montra qu'il n'y en avait pas en cet endroit, ce qui fut confirmé par des fouilles ultérieures.

Il semble vraisemblable que cette méthode de prospection prenne une grande importance pour la détection des structures ensevelies de divers types, à condition qu'elles soient relativement simples et isolées les unes des autres et que la composition de la couche superficielle et du sous-sol soit à peu près homogène. Pour les sites d'une complexité plus grande, comme les constructions romaines et médiévales où l'occupation s'étend sur une longue durée, la superposition des structures successives conduit à des courbes de résistance qui sont difficiles ou impossibles à interpréter d'une façon satisfaisante. Dans de tels cas le mieux que l'on puisse espérer est de déterminer les limites et l'orientation de l'aire de bouleversement.[1]

R. J .C. Atkinson, M. A., F. S. A.
Université d'Édimbourg.

1. Voir appendice p. 310

CHAPITRE III

LE DÉTECTEUR ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE

On fait souvent allusion à l'application à la recherche archéologique du détecteur électro-magnétique utilisé en temps de guerre pour le déminage. Dès la fin de la dernière guerre des expériences furent faites dans ce sens en France, en Suisse, en Angleterre et sans doute dans d'autres pays, car c'est un moyen de prospection qui vient facilement à l'esprit. Tous les résultats semblent à peu près concordants, et bien que son emploi soit très limité, il serait souhaitable que les équipes spécialisées dans les fouilles protohistoriques ou historiques aient à leur disposition un détecteur de métal. Malheureusement presque rien n'a été publié sur cette question et les résultats de presque toutes les expériences sont restés inédits.

Les Expériences

En 1947, à Senlis, on exécuta une série d'expériences sur les chantiers de fouilles du Château et des Arènes avec les détecteurs électro-magnétiques du Service de Déminage de l'Armée [1]. Trois appareils différents furent essayés avec succès : le premier, léger et portatif, pouvant être manié par une seule personne ; le second à deux porteurs, d'un maniement encore aisé ; le troisième, de grandes dimensions, exigeant une mise en batterie assez longue sur support fixe.

Voici comment on procéda : Avec le petit appareil, qui est sensible jusqu'à une profondeur de 0,50 mètre environ, on parcourut tout le terrain préalablement divisé en bandes parallèles à l'aide de ficelles tendues. Cette première opération permit de retirer tous les objets métalliques de la surface ou voisins de la surface (clous, épingles, morceaux de fil de fer, boîtes de conserve, etc.). Ces objets sont généralement très nombreux et tant qu'ils n'ont pas été retirés rendent la prospection en profondeur

1. Les renseignements qui suivent sont extraits d'un rapport inédit communiqué par M. George MATHÉRAT, Directeur de la 2e Circonscription des Antiquités Historiques. M. DU MESNIL DU BUISSON dirigeait les expériences.

impossible. Puis la même opération fut répétée avec un appareil plus puissant. Les indications ainsi obtenues déterminèrent l'emplacement de sondages dans lesquels on put retrouver assez facilement des objets métalliques situés à un mètre ou 1 m. 50 de distance.

« Ces appareils, dit le rapport, décèlent avec beaucoup de netteté et de précision la plus petite parcelle métallique, dissimulée à la vue dans le sol ou dans les murs. La profondeur à laquelle ils détectent dépend du réglage et de la grandeur du dispositif employé. L'indication de la position de l'objet est donnée par une double indication visuelle et sonore : en même temps qu'une aiguille se déplace sur un cadran, l'appareil émet un sifflement caractéristique dont l'intensité croît à mesure que la cellule détectrice se rapproche de l'objet et atteint son maximum lorsqu'elle est juste au-dessus. Il suffit alors de creuser à l'endroit indiqué pour découvrir la cause du phénomène.

« Les résultats sont concluants. L'utilisation de cet appareil est simple et pratique, la localisation de l'objet très rapide, sa découverte immédiaté. Rien ne passe inaperçu : le sifflement de l'appareil ne cesse que lorsque tout ce qui est métallique a été retiré.

« Les expériences de Senlis ont fait apparaître une nouvelle propriété très importante des appareils détecteurs électro-magnétiques. L'indication fournie par l'un d'eux ayant fait déterrer un morceau de tuile à rebord (tegula) sans aucune parcelle métallique voisine, nous avons aussitôt recherché si tout autre morceau d'argile cuite était susceptible d'avoir la même action. De nombreuses vérifications furent alors exécutées. Elles permirent d'établir que si les briques modernes agissent peu, par contre tuiles et briques anciennes présentent une action comparable à celle des métaux, ce qui était à prévoir d'après les recherches en cours de M. Thellier, de l'Institut de Physique du Globe de Paris.

« D'où une conséquence imprévue et remarquable de la méthode préconisée par M. du Mesnil du Buisson : on pourrait à l'aide des appareils électro-magnétiques dessiner la forme des murs de briques enfouis, et surtout le plan général des édifices ruraux antiques, nombreux dans les champs ou les bois de nos campagnes, qui, incendiés lors des grandes invasions barbares, n'ont laissé comme traces de leur présence qu'une épaisse couche de tegulae, toitures effondrées reposant à quelques décimètres au-dessous de la surface du sol. »

Cette application de la détection électro-magnétique aux terres cuites pour inattendue qu'elle soit ne devrait pas nous surprendre [1]. Il serait tout à fait intéressant de procéder à de nouvelles expériences.

D'autres expériences furent faites par M. du Mesnil du Buisson sur le côté droit de Notre Dame de Paris, jusqu'aux chapelles rayonnantes [2].

1. Voir chapitre X.

2. Ces expériences inédites furent l'objet d'une communication à la Société Nationale des Antiquaires de France le 25 juin 1947.

Tous les objets métalliques qui se trouvaient sous le dallage furent notés avec précision sur un plan. A la fin de l'expérience on pouvait tracer à la craie sur les dalles les bords des cercueils de plomb. Mais il ne fut naturellement pas possible de vérifier la présence des objets, ni de dire s'il s'agissait d'épées, de crosses d'évêque ou de clous de cercueil.

D'autres expériences également inédites furent faites à Tonnerre par M. Marcel Orbec, peu après la fin de la dernière guerre sur le pavage et les murs de l'Hopital Marguerite de Bourgogne. L'appareil était un détecteur de l'armée française. On put localiser nettement un coffret en plomb situé derrière un bas-relief et que l'on suppose contenir le cœur du Marquis de Courtanvaux. L'appareil signala aussi avec netteté l'existence d'un objet métallique derrière une pierre scellée dans un mur et sur laquelle il y avait une épitaphe martelée et illisible. Malheureusement d'ailleurs, par suite de diverses difficultés, la pierre ne fut jamais descellée et l'expérience en resta là.

Vers la même époque des expériences de même ordre étaient tentées en Angleterre et en Suisse. Les expériences anglaises n'ont pas été publiées. Les expériences suisses menées par M. Karl Keller-Tarnuzzer à la palafitte de Bleiche-Arbon, par M. Bandi à la station du « Lac d'Ogoz » donnèrent des résultats assez comparables à celles de Senlis. Les appareils utilisés étaient des détecteurs de mines de l'armée suisse. Cet appareil semble moins puissant que l'appareil français, car il ne détecte pas les objets à plus de 20 cm. de profondeur, sauf s'ils sont d'une taille exceptionnelle. La palafitte de Bleiche-Arbon date du premier âge du bronze. Les expériences furent faites sur une portion de la station qui n'avait pas été fouillée. Les résultats en furent peu concluants. D'une part un seul objet de bronze, un poignard, fut détecté sur la surface examinée ; d'autre part plusieurs fois l'appareil réagit à des pierres qui, envoyées par la suite au Laboratoire de Minéralogie et de Pétrographie de Zürich, se révélèrent contenir du fer. Les erreurs répétées causées par ces pierres compliquèrent le travail de prospection [1].

Les essais faits au « Lac d'Ogoz » se combinaient avec des expériences de prospection par la photo aérienne et par la méthode des phosphates [2]. Là non plus les résultats ne furent guère concluants, la puissance du détecteur étant insuffisante et les débris métalliques modernes très nombreux sur tout l'emplacement prospecté.

1. Les résultats des expériences faites à BLEICHE ARBON n'ont pas été publiés. Ces renseignements sont tirés d'un rapport inédit communiqué par M. Karl KELLER-TARNUZZER.

2. H. G. BANDI, « Archäologische Erforschung des zukünftigen Stauseegebietes Rossens-Broc », *Schweizerischen Gesellschaft für Urgeschichte*, 1945, pp. 100-106, avec une photo du détecteur portatif suisse.

Le choix de l'appareil et les limites de son utilisation.

Certains expérimentateurs se sont plaints des difficultés d'emploi et de maniement de l'appareil : encombrement, poids, nécessité d'un stage auprès d'un moniteur compétent. Ces difficultés ne sont pas insurmontables. Il existe actuellement de petits appareils fort maniables et dont l'utilisation ne demande qu'un apprentissage de quelques heures. Le détecteur américain du type SCR-425 ou le détecteur français de la Société L. M. T. répondent parfaitement à ces conditions [1]. Le détecteur américain par exemple, d'excellente qualité, est un appareil portatif peu encombrant. Il est enfermé dans une valise facilement transportable, l'ensemble pesant environ 23 kg.

Ces appareils permettent la détection d'objets très petits, tels qu'un franc en aluminium à une distance de l'ordre de 15 cm. et celle d'objets plus grands, tels qu'un disque métallique de 30 cm. de diamètre à une distance de l'ordre de 40 cm. à 1 m. Il est à remarquer que la détection ne dépend pas tellement du poids que de la surface des objets à détecter : ainsi une sphère métallique pesant une centaine de grammes ne peut être repérée qu'à une distance de 20 à 30 cm., tandis qu'une tôle mince de même poids pourrait être détectée à une distance de 1 m. 50 à 2 m.

Il existe certes des détecteurs beaucoup plus puissants. Mais ils sont aussi beaucoup plus lourds, et pratiquement inutilisables au cours des fouilles. Un appareil réalisé au Centre de Recherches Scientifiques, Industrielles et Maritimes de Marseille [1] permet la détection de grandes masses métalliques à une distance de 2 ou 3 mètres, mais il comporte un cadre détecteur de 1 m. 50 de diamètre et nécessite l'alimentation par un accumulateur et quatre batteries de haute tension. Le cadre en est léger et facile à porter, mais le reste de l'appareil nécessite une petite voiture à bras. L'usage d'un tel instrument ne peut évidemment être courant en archéologie, et ne serait à envisager que dans des cas tout à fait particuliers.

Pratiquement l'équipe de fouilleurs devra se contenter de l'appareil portatif et ne pourra donc espérer détecter des objets métalliques de petites dimensions à une distance supérieure à 40 cm. Encore est-il qu'elle se trouvera sans cesse gênée dans son travail par suite de la quantité d'objets magnétiques enfermés dans le sol ou déposés à sa surface. L'appareil réagit sans discrimination aussi bien en présence de vieilles boites de conserve que de clous, d'épingles, de terres ou de pierres ferrugineuses,

1. Le directeur de ce Centre est M. F. Canac auquel sont dûs ces renseignements concernant les différents types de détecteur et les limites de leur utilisation.

de fragments de tuiles ou de briques, d'où une grande perte de temps dont se plaignent tous ceux qui l'ont expérimenté.

Ainsi ce genre de détection bien que recommandable ne peut être utilisé que dans des cas extrêmement limités. Le cas le plus susceptible d'applications intéressantes est probablement celui des nécropoles barbares où le détecteur électro-magnétique permettrait de déterminer avec précision, sans sondage préalable, l'emplacement et peut-être l'orientation des tombes. De même il est possible qu'il puisse localiser dans un champ les limites d'une zone à tegulae, ou permettre de dresser un plan sommaire de substructures de briques enfouies. Mais une seule expérience, due d'ailleurs au hasard, a été réalisée dans ce domaine. Il serait imprudent de conclure trop rapidement.

Pour les problèmes de prospection proprement dite, l'emploi du détecteur se borne donc à quelques structures relativement récentes, et encore à condition qu'elles ne s'étendent pas sur de vastes étendues et qu'elles soient déjà assez nettement localisées faute de quoi les débris modernes de métal risqueraient d'éterniser les recherches ou de faire passer inaperçus les objets intéressants. Par contre, et là aussi tous les expérimentateurs sont d'accord, le détecteur pourrait être employé avec efficacité comme moyen de contrôle, soit au cours du décapage lui-même, soit au cours du triage des déblais provenant de sites protohistoriques ou historiques. On serait assuré ainsi de ne laisser échapper aucune monnaie, aucune perle métallique, toujours difficiles à distinguer lorsqu'elles sont entourées de leur gangue de terre. Le détecteur deviendrait ainsi beaucoup plus un outil de fouille que de prospection. [1]

A. LAMING.

1. Voir appendice p. 311-312

DEUXIÈME PARTIE

LE MILIEU PRÉHISTORIQUE

INTRODUCTION A LA DEUXIÈME PARTIE

La réflexion sur le milieu préhistorique est aussi ancienne que les fouilles elles-mêmes. Milieu climatique, milieu animal, milieu végétal sont esquissés dès les premières recherches relatives à l'homme préhistorique. Ce n'est pas que dans la première moitié du XIXe siècle, on attache beaucoup d'importance aux questions des influences réciproques de l'homme et de son environnement. L'histoire telle qu'on la conçoit alors est essentiellement une histoire politique — les rapports de l'homme et de son milieu ne sont encore qu'entrevus. Mais par leur situation, par les circonstances de leur découverte, par les vestiges dont elles sont accompagnées, les industries préhistoriques évoquent le milieu naturel dans lequel elles ont été conçues et utilisées, avec plus de force que n'importe quelles archives ne l'ont jamais pu faire. Sols, ossements, débris végétaux sont des témoins évocateurs des temps passés avec leur faune, leur flore, leur climat. Et, bien involontairement, la préhistoire dès ses origines entre dans la voie dans laquelle l'histoire devait s'engager peu après en tâtonnant, celle d'une reconstitution complète et concrète du passé de l'homme.

Paléontologie et géologie.

A partir de la fin du XVIIIe siècle on assiste à un développement extrêmement rapide de toutes les branches de l'histoire naturelle, développement dont va aussitôt profiter la préhistoire naissante. Il serait trop long d'en retracer ici les différentes étapes, et c'est dommage, car certains de leurs aspects, comme l'histoire des fossiles dans l'Antiquité et jusqu'à la Renaissance, en sont à la fois pittoresques et riches d'enseignement. Evoquons seulement très rapidement la naissance de la notion de stratigraphie, et de paléontologie stratigraphique, qui est devenue un des outils fondamentaux de la recherche préhistorique.

La notion de stratigraphie est relativement récente par rapport aux nombreuses théories géologiques qui, des Egyptiens et des Grecs à la Renaissance, cherchèrent à expliquer la formation de l'écorce terrestre. Jusqu'au XVIe siècle, et même au XVIIe siècle, la géologie est, pourrait-on dire, une géologie de surface : si l'on fait abstraction des grandes théories cosmogoniques qui généralement font peu de cas des faits et de l'observation, les physiciens et les géologues cherchent à expliquer la formation des vallées, celle des côtes, l'action des tremblements de terre, des inonda-

tions etc. Nulle part ne se fait jour l'idée de superposition des couches géologiques et de l'immense durée de leur formation. Au XVIe siècle, Nicolas Stenon, un Danois, enseigne que l'écorce du globe est formée de couches parallèles et superposées qui sont le résultat des dépôts de la mer, des lacs, des fleuves, etc. La géologie stratigraphique est fondée. Elle ne progressera d'ailleurs que fort lentement et ne prendra son réel essor que dans la seconde moitié du XVIIIe siècle.

C'est également dans la seconde moitié du XVIIIe siècle que l'on commence à appliquer cette nouvelle méthode stratigraphique à l'étude des fossiles. Après les premières observations de Guettard (vers 1750) et de Giraud-Soulavie (vers 1770) sur des fossiles dont ils avaient remarqué qu'ils sont régulièrement distribués selon les couches géologiques auxquelles ils appartiennent, William Smith, en 1796, fonde d'une façon définitive la méthode de la paléontologie stratigraphique. Deux ans plus tard, Cuvier appliquait aux mammifères et en particulier à l'éléphant l'idée de faunes successives et d'évolution stratigraphique, qui jusque là n'avait servi qu'à l'étude des coquillages. Quelques années après, et presque simultanément, les aspects essentiels du Bassin Parisien sont étudiés par Cuvier et Brongniart tandis que Smith donne deux études sur l'identification des couches par leurs fossiles [1]. La méthode se répand aussitôt un peu partout en Angleterre, en France, en Allemagne, et se trouve ainsi, dès les premières découvertes préhistoriques appliquée tout naturellement à l'étude des ossements et des sédiments des niveaux archéologiques. Dès les débuts il n'est pas de fouille quelque peu soigneuse qu'elle soit qui ne comporte au moins la mention des ossements et éventuellement des vestiges botaniques découverts et la description plus ou moins rapide des couches dans lesquelles ils reposaient.

Cet aspect de la recherche, centré sur les sciences naturelles, prend aussitôt une très grande importance. C'est sur la paléontologie que sont fondées les premières classifications des temps préhistoriques : on parle d'un âge du Grand Ours, d'un âge du Mammouth, d'un âge du Renne, ce dernier passé depuis dans le langage courant. L'étude du milieu végétal fossile a, lui aussi, depuis le début du XIXe siècle, suscité plusieurs travaux importants. En 1847, Boucher de Perthes, frappé par les nombreux vestiges végétaux conservés dans la tourbe, en pose avec clarté les principes d'une étude systématique : « L'étude des tourbières non plus que celles des bancs diluviens n'a pas été poussée aussi loin qu'elle devrait l'être. On peut distinguer encore dans la tourbe, surtout au moment de son extraction, une partie des végétaux qui la composent. La flore des espèces subterranées, ou la nomenclature des plantes de la tourbe, décrites couche par couche, en remontant jusqu'à la surface et en indiquant la succession des espèces dans une même localité pendant une longue série de siècles, pourrait montrer quelles ont été les variations du sol et du climat. » [2] En notant ces quelques lignes, Boucher de Perthes n'imagine certes pas combien les futures études sur les pollens confirmeront ses prévisions.

Parallèlement aux études de paléontologie animale et végétale, et sous la forte impulsion de Ch. Lyell, on cherche aussi dès les débuts à rattacher le plus possible

1. L. de LAUNAY, *La Science géologique*, Paris, A. Colin, 1905, pp. 76-77.

2. *Ant. Celt. et Antéd.*, I, 1847, p. 547, note 24.

les découvertes anté-historiques aux études géologiques. En 1836, Tournal déjà reconnaissait le rôle essentiel de la géologie dans les recherches sur l'homme fossile, car seule elle peut « nous donner quelques notions sur l'époque de la première apparition de l'homme sur le globe terrestre. » [1] Cette attitude ne se dément pas et l'étude des glaciers du Quaternaire, des variations climatiques qui les accompagnent, de leur retrait à la fin de l'âge de la pierre taillée et de l'avènement d'une nouvelle période plus douce et plus humide, celle des terrasses des vallées et des alluvions, celle aussi de l'état physique des couches en fonction des changements de climat et des circonstances de leur formation, a toujours constitué une part importante des préoccupations des premiers préhistoriens.

Ces données diverses permettent de tracer un tableau plus ou moins exact des temps quaternaires. En 1864 par exemple, Prestwich, alors que les divisions du Paléolithique sont encore bien imprécises, cherche à retracer le climat de l'Europe Occidentale à l'âge de la pierre taillée en prenant pour guide les traces des phénomènes glaciaires, la faune fossile, avec ses bœufs et ses chevaux sauvages, ses rennes et autres cervidés, sa flore, avec ses chênes, ses ifs, ses sapins, ses airelles [2]. A la même époque toutes les études d'ensemble, tous les articles ou ouvrages de vulgarisation, qui sont déjà nombreux, comportent toujours quelques pages sur ces questions de climat, de faune et de flore.

Des études de détail naissent un peu partout sur la flore et surtout sur la faune des gisements explorés. Les découvertes d'art mobilier, et ensuite d'art rupestre, fournissent des documents nouveaux à la connaissance de la faune [3]. En même temps les premières recherches sur la géologie du Quaternaire se sont multipliées et diversifiées. A de nouvelles acquisitions dans un domaine ou dans un autre, correspondent des essais de coordination avec les données déjà connues de la géologie, celles de la paléontologie, celles de l'archéologie. Parmi ces tentatives de synthèse, on peut citer celle de Boule, qui, dès 1888, proposait une classification des temps quaternaires fondée sur l'utilisation et la coordination des trois ordres de renseignement [4].

C'est en effet vers cette coordination que se tournent les préoccupations essentielles des chercheurs. Plus encore que de permettre des reconstitutions, il s'agit pour eux d'établir des classifications plus précises et plus détaillées qui fournissent un cadre chronologique dans lequel on pourra ensuite situer avec certitude les faits archéologiques. Les classifications paléontologiques proposées par Lartet se sont

1. TOURNAL, *Annales des Sciences Naturelles*, 1834, cité par CARTAILHAC, *La France Préhistorique*, 1889, p. 37.

2. PRESTWICH, *Phil. Trans.*, 1864, p. 281.

3. La découverte de grands mammifères quaternaires (mammouths, rhinocéros, bisons) congelés au moment de leur mort dans les glaces de Sibérie et trouvés à peu près intacts par nos contemporains a fourni de précieuses précisions sur ces animaux. Le mammouth de la Berezooka par exemple était si bien conservé (bourres et poils, pattes, queue, opercule anal, viscères, etc.) qu'il fut en partie dévoré par les loups au moment de sa découverte. Il avait encore de l'herbage pris entre les dents, et on put identifier les divers débris végétaux qui emplissaient son estomac (espèce de serpolet, pavot, renoncule, gentiane, etc.) et qui appartenaient tous à des plantes que l'on trouve actuellement dans le Nord de la Sibérie. W. PFIZANMAYER, *Les Mammouths de Sibérie*, Payot, 1939.

4. M. BOULE, « Essai de Paléontologie stratigraphique de l'homme », *Revue d'Anthropologie*, 1888 et 1889.

vite compliquées, enrichies de faits nouveaux. On s'est aperçu qu'il était bien difficile de distinguer un âge du Grand Ours, un âge du Mammouth, etc. « Les limites nettes et tranchées qu'on voulait établir autrefois entre les diverses faunes géologiques s'effacent tous les jours de plus en plus. Il y a eu non seulement contact, mais encore et surtout enchevêtrement dans la succession des genres, des espèces et même des races des divers animaux, si bien qu'on sera un jour conduit forcément à admettre le passage successif entre les divers genres, espèces et races »[1]. Cet enchevêtrement ne se confine pas aux divisions paléontologiques, il est tout aussi vrai pour les divisions géologiques et archéologiques, et la préhistoire contemporaine n'a pu encore s'en rendre complètement maître.

Étude des microvestiges.

A partir du début du XXe siècle cependant, parallèlement à ces recherches classiques, une nouvelle orientation se fait jour et se précise. Vers le milieu du siècle précédent, une nouvelle science, la microgéologie, était née avec les recherches d'Ehremberg et de Sorby sur la constitution microcospique des roches et sur les êtres infiniment petits qu'on peut y retrouver à l'état fossile. Vers la même époque s'était développée toute une série d'études tournées vers les êtres microcospiques. Aussi à la récolte des ossements de mammifères dans les niveaux archéologiques et à celle des coquilles fossiles déjà classique, vont s'ajouter dans des cas de plus en plus fréquents des prises d'échantillons de toutes sortes destinés à être examinés au microscope au laboratoire. Ce n'est que depuis 10 ou 20 ans que ce genre d'études commence à être systématiquement appliqué.

L'étude microscopique des sédiments et des organismes qu'ils renferment ajoute une nouvelle page à la connaissance des temps préhistoriques. Actuellement elle se divise en plusieurs spécialités inégalement exploitées dont les unes se rattachent à la géologie (granulométrie, etc.), les autres à la paléontologie (malacologie, ou étude des mollusques, dont les tailles d'ailleurs sont fort variables ; étude des foraminifères, des diatomées, etc.), à la botanique (pollens).

Parmi ces différentes études celle des pollens est la plus développée. Les pollens sont connus depuis fort longtemps puisqu'ils furent classés et inventoriés par Grew en 1682. Longtemps cependant on ne soupçonna pas qu'ils pouvaient se trouver conservés à l'état fossile et ce n'est que vers les environs de 1900 que l'on commença à appliquer leur étude à des recherches d'ordre archéologique. A partir de cette époque ils prirent une place sans cesse croissante dans l'étude de l'évolution des climats des époques postglaciaires pour lesquels justement les données de la paléontologie et celles de la géologie sont de peu de secours. Les pollens furent d'abord découverts et étudiés dans les tourbes. Ils sont conservés aussi dans d'autres sédiments, mais en si petite quantité que l'on pensa d'abord qu'il était impossible d'en

1. *Matériaux*, IV, 1868, p. 213.

faire une étude valable. De nouvelles méthodes de concentration expérimentées surtout en Suisse et aux Etats-Unis ont donné des résultats intéressants. L'étude pollinique des sédiments autres que les tourbes commence à peine, mais est déjà riche de promesses. Il est probable qu'on pourra bientôt l'appliquer à un nombre beaucoup plus important de gisements.

Il n'est pas inutile de remarquer que l'étude de la microfaune et de la microflore fossiles ne correspond pas seulement à un raffinement de spécialiste. En réalité elle fournit des données très différentes de celles que l'on trouve habituellement dans la faune macroscopique des gisements. D'une part en effet le dépôt dans les niveaux archéologiques de ces organismes microscopiques est pratiquement indépendant de l'action de l'homme contrairement aux restes de gibier et de bois carbonisés pour le paléolithique, d'animaux domestiques et de végétaux divers pour les temps néolithiques. D'autre part leur taille minuscule et leur grande abondance permettent de les étudier statistiquement et d'en tirer des courbes climatiques, ce qui, sur les ossements de mammifères n'a guère jusqu'ici donné de résultats appréciables.

L'Étude du milieu et sa signification.

Ces recherches systématiques, géologiques et microgéologiques, paléontologiques et micropaléontologiques, etc., ont abouti à une connaissance du milieu préhistorique, parfois extraordinairement précise pour les époques les plus récentes, comme dans le cas de l'évolution postglaciaire de la végétation en Europe du Nord. Pour le préhistorien, et indépendamment des acquisitions particulières de chaque discipline utilisée, cette connaissance du milieu préhistorique peut être envisagée de deux façons différentes.

Dans une première perspective, de beaucoup la plus fréquente, elle sert à établir des tableaux de plus en plus détaillés de l'évolution corrélative du climat, de la faune, de la flore et des industries préhistoriques, et permet de déterminer des points de repère fixes pour l'établissement d'une chronologie relative. Ces tableaux et ces chronologies constituent le but essentiel de la très grande majorité des recherches poursuivies, sur le plan préhistorique, sur les pollens, la microfaune, etc.

A l'opposé de ce point de vue, que l'on pourrait qualifier d' « historique », il en est un autre beaucoup plus négligé quoique fort intéressant, et qui est plus spécifiquement « géographique ». L'étude du milieu préhistorique peut servir à reconstituer le cadre, l' « environnement » comme disent les Anglais, dans lequel évoluait l'homme des temps passés. Il est de tradition, dans tout ouvrage de préhistoire, et cela depuis les débuts, d'accorder quelques pages à la description du milieu, climat, faune, végétation. Ces tableaux traditionnels ont vite acquis une précision suffisante pour le but qu'ils prétendent atteindre et qui est de suggérer rapidement l'ambiance naturelle de telle ou telle civilisation étudiée.

Or ces questions d'ambiance ont pris récemment une importance et surtout une signification bien différente. Le développement surprenant pris dans les dernières décades par la géographie humaine historique, et, en France, plus particulièrement

depuis le cours professé en 1905 au Collège de France par Camille Julian sur les conditions géographiques de l'histoire de la Gaule, n'a pas manqué d'influer sur les études préhistoriques. De plus en plus aujourd'hui on cherche à intégrer l'homme et son milieu et à poursuivre l'étude en profondeur des interactions de l'un sur l'autre.

Les descriptions traditionnelles et rapides du climat, de la faune et de la flore des époques envisagées s'enrichissent. Les études d'abord diffuses sur les rapports du sol et de ceux qui l'occupent (défense, circulation, ressources naturelles, etc.) deviennent plus fréquentes. Les cartes de répartition se multiplient et permettent d'étudier l'occupation humaine en fonction de la géologie, de l'hydrographie, etc. Les études systématiques sont encore peu nombreuses pour les temps postglaciaires, rarissimes pour les temps paléolithiques. Mais l'influence latente est aisément perceptible. Il est probable qu'elle n'ira qu'en se développant et réclamera une connaissance de plus en plus précise du milieu préhistorique non seulement dans son évolution, mais aussi dans ses aspects plus permanents (structure géographique, emplacement des gisements, constitution des sols, etc.).

En Angleterre ce que l'on pourrait appeler la géographie humaine préhistorique a suscité plusieurs études parmi lesquelles on ne peut passer sous silence les recherches systématiques de Cyril Fox [1], dans lesquelles la position, les contours, le relief et la structure de la Grande-Bretagne sont étudiés comme des facteurs essentiels pour la compréhension de sa préhistoire (néolithique et époques plus récentes dans le cas envisagé) ; le climat qui résulte de sa position et de son relief, et le sol qui est lié à sa structure y déterminent la vie végétale et la vie animale. L'ensemble constitue le milieu, l' « environnement », de l'homme et la « personnalité de la Grande-Bretagne. » L'établissement de nombreuses cartes de répartition des trouvailles archéologiques montre, pour le cas particulier de la Grande-Bretagne, la réalité de l'action de ces facteurs géographiques sur l'évolution des civilisations. Le caractère insulaire de la Grande-Bretagne fournit évidemment un champ privilégié à ce genre d'étude, qui pourtant peut être appliqué avec succès à n'importe quelle région géographique bien déterminée. Il serait passionnant de reprendre par exemple de ce point de vue l'étude des habitats préhistoriques des vallées du Périgord ou celle des civilisations lacustres du Jura français et suisse.

Quoiqu'il en soit de cette orientation nouvelle de l'étude du milieu préhistorique pour laquelle d'ailleurs les matériaux traditionnels ont un intérêt fondamental, les recherches sur l'évolution de la faune, de la flore et du climat restent essentielles. Ce sont quelques uns des plus récents moyens d'investigation des documents paléontologiques, paléobotaniques et géologiques qui vont être envisagés dans les prochains chapitres.

A. L.

1. Cyril Fox, *The Personnality of Britain, its influence on inhabitant and invader in prehistoric and early historic times*, Cardiff, 4e éd., 1947.

CHAPITRE IV

L'ÉTUDE DES SÉDIMENTS, BASE DE LA RECONSTITUTION DU MILIEU PHYSIQUE : le sol, les eaux, le climat

---

L'archéologie, tant historique que préhistorique, n'a longtemps été que l'étude de l'industrie humaine, qu'elle soit d'ordre purement utilitaire : technique ou magique, soit d'ordre plus relevé : artistique ou religieux. Les fouilles consistaient à extraire ou à dégager ces restes de la matrice ou de la gangue qui les voilait et à rejeter celle-ci sans plus s'en occuper, le contenu étant seul intéressant. Actuellement, l'étude scientifique du contenant prend une importance considérable et l'on voit telle fouille qui ne livre qu'une rare et médiocre industrie se révéler hautement instructive par des renseignements climatiques obtenus de l'examen de ces mêmes sédiments si pauvres en objets archéologiques.

Alors que pour les temps historiques le milieu est sensiblement le même qu'aujourd'hui, pour les temps préhistoriques les climats les plus divers et les plus opposés se sont succédé. Le fond rocheux des terrains restant sensiblement le même, c'est le climat qui a conditionné au maximum la formation des sols, l'érosion, l'hydrographie, la flore, la faune, tout ce qui, constituant le cadre où l'homme préhistorique a vécu, a, pour une grande part, déterminé ses activités.

Cette matrice qui sert de linceul aux objets archéologiques est très variée ; nous l'appellerons « sédiment » dans le sens le plus large donné à ce mot : ce sera la vase d'une cité lacustre suisse ou celle d'un estuaire de Loire, les épais cailloutis de terrasse d'une Seine ou d'une Garonne quaternaire, les gypses d'un fond de chott africain, les tourbières de plaines ou de montagnes, les amoncellements de coquilles des côtes danoises, les cendres d'une escargotière tunisienne, les tufs d'une source incrustante. Dans une grotte ce sera l'argile ou la stalagmite accumulée par les lents

suintements de l'eau, les écailles rocheuses détachées des parois par le gel ; dans un dolmen ce sera telle couche noire, restes de chairs décomposées, infiltration d'humus ou débris d'un plancher. L'étude de ces sédiments est à peine entreprise actuellement mais, bien que rares et fragmentaires, les premiers résultats valables sont des plus encourageants.

Les techniques utilisées peuvent être artificiellement divisées en deux groupes : techniques physiques, techniques chimiques, pratiquement étroitement intriquées. Ces procédés n'ont pas tous été créés de toutes pièces pour les besoins spéculatifs des archéologues ou des géologues, mais beaucoup sont des emprunts aux techniques utilitaires, industrielles ou agricoles.

C'est ainsi que la granulométrie (mesure des grains d'un sédiment meuble) est née de l'*analyse mécanique*, créée par les agronomes, perfectionnée ensuite par les pédologues, puis, surtout actuellement, par les industriels. En effet, l'étude des corps broyés s'est accentuée avec l'emploi des agglomérés ; qu'ils soient durs : bétons, mortiers, ciments, éverites, grès et céramiques, pierres artificielles de toutes sortes, ou tendres : bois reconstitués et autres agglomérés légers. L'étude des matériaux de charge pour papiers, caoutchouc, peinture; l'enrichissement des charbons, l'extraction des minerais par flottation, la métallurgie des poudres, autant de domaines utilisant et perfectionnant les procédés de la granulométrie. De même c'est à la chimie essentiellement pratique des pédologues que se rattache celle des couches préhistoriques puisqu'elles ne sont pas autre chose que d'anciens sols.

L'examen des sédiments archéologiques doit, pour fournir le maximum d'indices utiles, être poussé très loin, ce qui nécessite l'emploi de moyens les plus divers, gradués depuis la simple observation à l'œil nu jusqu'aux micro-dosages chimiques et l'analyse aux rayons X.

Morphologie

Morphologie et Morphoscopie ont pour but l'étude des formes ; mais tandis que les examens dits morphoscopiques que nous envisagerons plus loin portent sur des parties élémentaires des sédiments : galets, blocs, sables, etc., la morphologie étudie des dispositions d'ensemble.

La *Morphologie superficielle* qui est l'étude des formes du modelé terrestre est surtout œuvre de géographe. Le simple relief du sol est souvent révélateur de son passé. Par exemple, cette vallée sèche en forme de demi-cercle, est l'ancien méandre recoupé d'une rivière quaternaire, ce gradin suspendu au flanc du coteau, gravé dans la roche, bien qu'il ne porte plus trace d'alluvions, nous indique le niveau où la rivière a autrefois longuement stationné avant de reprendre son travail de creusement. Ce porche de grotte s'ouvre à mi-hauteur d'une falaise, mais il est encore parsemé de galets étrangers à la vallée : c'est l'ancienne sortie d'une rivière souter-

raine qui coule maintenant 20 mètres plus bas qu'autrefois. La forme en auge de ce vallon nous indique qu'il a été autrefois rempli jusqu'au bord des énormes masses d'un glacier qui a buriné profondément ses parois en pesant de tout son poids sur les blocs et les graviers qu'il transportait avant de les abandonner dans ce vallum morainique, maintenant recouvert d'herbe.

L'océanographie peut nous révéler, par ses procédés de sondages continus, avec enregistrement des échos renvoyés par les fonds, la forme du relief sous-marin. Elle nous montre que nos rivières se continuent sous les flots par des vallées fossiles, aboutissant loin des côtes actuelles à des rivages submergés dont on retrouve les plages de galets et les falaises. La réalité de l'émersion ancienne de ces terres que l'homme préhistorique a autrefois parcourues nous est prouvée par des ossements dragués en mer du Nord, appartenant au mammouth, animal de pays froids. Par contre, la mer rejette sur la plage de la Baule des blocs de coquillages agglomérés, appartenant à des espèces méditerranéennes, restes probables d'une côte submergée d'époque tyrrhénienne [1].

Ce modelé superficiel, révélateur d'anciens climats, d'anciens paysages, n'est généralement explicable qu'en fonction de la *morphologie profonde*, de la nature et de la disposition des couches de terrain, domaine du géologue. Puisqu'il s'agit ici d'archéologie, donc d'un passé qui, pour les géologues, est récent, nous évoquerons uniquement les terrains quaternaires qui, seuls, ont été dans leur formation contemporains de l'homme.

Les éléments morphologiques utilisés par le géologue seront la couleur, la superposition, l'inclinaison et la forme des couches, la disposition de leurs éléments.

« La couleur des sols est d'une grande importance. Ne sert-elle pas en pédologie à établir un premier classement : terres rouges, terres brunes, etc. ? [2] » Koby remarquant la fréquence des anomalies de vision des couleurs chez l'homme, plaide pour l'emploi dans les publications des chiffres fournis par des codes universels de couleur, tel celui de Seguy, où de grandes variétés de nuances sont figurées et numérotées. Pour comparer entre elles les couleurs des couches étudiées, il utilise après Laïs des lamelles de verre encollées sur lesquelles il pulvérise le sédiment.

Dans les fouilles, des différences de couleurs, parfois très minimes, sont souvent révélatrices, soit d'une différence stratigraphique, peu visible autrement sur les coupes [3], soit sur de vastes découpages horizontaux d'une silhouette d'objets ou de corps décomposés ; telle l'ombre des bœufs attelés au char royal, également fantôme, d'une tombe d'Our, telles les traces des coffres de bois des champs d'urnes silésiens [4].

1. Bourcart, Fischer, Marie, *C. R. s. Soc. Géol.*, 1942, p. 10.
2. F. Koby, *Archives Suisses d'Anthropologie Générale*, 1946, p. 22.
3. F. Bordes, *L'Anthropologie*, 1949, p. 428, note.
4. *Nachrichtenblatt für deutsche Vorzeit*, 1941, p. 1.

L'examen des teintes peut parfois éviter des erreurs importantes : sur une coupe de loess voici une zone arrondie, très légèrement plus foncée, le loess y est moins compact, en l'effritant on peut vider une poche où l'on trouve des coquilles d'escargots et de petits ossements de rongeurs. C'est un terrier comblé. N'aurait-on pas tiré des conclusions erronnées en attribuant ces restes plus récents, à la masse même du loess [1] ?

Des éclairages spéciaux, tels la lumière jaune du sodium ou la lumière de Wood, dite lumière noire, prônée par Dériberé [2] peuvent, en modifiant les couleurs ou en excitant la fluorescence de certains corps, comme le phosphate de chaux, faire apparaître des stratigraphies invisibles rectifiant parfois de fausses stratigraphies dues à des migrations de corps vivement colorés comme les oxydes de fer ou le manganèse. La photographie en couleur en plein progrès, nous offre déjà la possibilité de conserver dans nos archives des documents colorés, accentuant parfois des distinctions qui apparaissaient subtiles pour l'œil.

Outre cet intérêt stratigraphique, certaines couleurs ont celui de traduire des processus chimiques reliables à des actions climatiques. Les teintes rouge foncé, en particulier, attireront l'attention sur de possibles phénomènes de latéritisation à vérifier chimiquement [3]. C'est ainsi que F. Bourdier propose d'attribuer à un climat interglaciaire chaud et humide, les sols rouge violacé du Bas-Dauphiné et de Monaco précédant les limons glaciaires qui les recouvrent[4]. H. Alimen, dans son étude du glaciaire pyrénéen de la vallée de l'Ousse, attribue à une période tempérée chaude et humide les teintes rouges rencontrées à la surface des terrasses, couleur passant du rouge violet au rouge orange puis au rose ; teintes d'autant moins prononcées que ces terrasses sont plus récentes [5].

L'examen de coupes de fouilles ou de carrières, les méditation devant les diverses couches de sédiments empilés les uns sur les autres à la façon des pages d'un livre, comme le veut une comparaison classique, sont pour le géologue habitué à lire ces feuillets la source d'évocations de paysages disparus.

Ces niveaux horizontaux, passant insensiblement de l'un à l'autre, lui révèlent la sédimentation continue d'un fond de lac ou d'une anse tranquille. Au contraire, ces couches emboîtées en cuvettes se recoupant les unes les autres, cette stratification entrecroisée, lui montrent l'action de courants rapides. Ces courants peuvent être ceux de la mer, d'un torrent,

1. J. Franc de Ferrière, *Géologie et Pédologie*, Strasbourg, 1937, p. 70.

2. M. Dériberé, *La Nature*, nov. 1949. Des expériences récentes d'éclairage de coupes en lumière de Wood, faites par J. Emperaire et A. Leroi-Gourhan à Arcy-sur-Cure, ont donné d'excellents résultats.

3. Les latérites sont des terres rouges dues à des décompositions de roches en climat humide et chaud ; il y a enrichissement en alumine, fer et titane, et appauvrissement en chaux, magnésie, potasse et soude.

4. F. Bourdier, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1940 et *C. R. s. S. G.*, 1946, p. 127.

5. H. Alimen, *Bull. de la Soc. de Géologie*, 1950, p. 107.

même ceux du vent ; nous verrons plus loin les critères qui lui permettront d'en déceler l'origine exacte.

Ici une couche d'alluvions grossières contraste brusquement avec le dépôt d'argiles finement litées qu'elles recouvrent en les ravinant ; c'est un fleuve torrentueux qui a creusé son lit dans un dépôt d'eaux tranquilles ; mais qu'a-t-il arraché de terrain avant d'arrêter son action sur cette surface ondulée ? on ne le sait pas, il y a lacune. Latéralement, peut-être, on retrouvera les couches manquantes.

Les climats marquent parfois leur action sur les sédiments à tel point que des variations annuelles sont saisissables ; c'est le cas des varves. Les varves, ou feuillets saisonniers, sont de minces couches sédimentaires de 2 mm. à quelques centimètres d'épaisseur, alternativement sablonneuses claires et argileuses foncées, elles constituent d'épais dépôts finement lités qui se sont formés dans les eaux tranquilles des lacs bordant les énormes glaciers quaternaires (inlandsis) scandinaves ou américains, glaciers alpins. Sous ces glaces, comme actuellement, l'eau de fonte laiteuse circulait et cela d'autant plus que la température était plus élevée ; ainsi en été le ruissellement plus intense dans des fissures élargies permettait le transport d'éléments un peu plus abondants et un peu plus grossiers que pendant l'hiver où un débit très ralenti, sous un glacier colmaté, ne transportait qu'un peu d'argile. De là viennent les différences de couleur, d'épaisseurs et de finesse des grains entre deux feuillets consécutifs des varves.

Le géologue suédois de Geer, puis le finnois Sauramo ont compté ces varves en de nombreux gisements correspondants à divers fronts du glacier scandinave lors de son retrait. Grâce à des différences d'épaisseurs dans les feuillets, ils ont pu synchroniser parfaitement les divers dépôts et en compilant les résultats obtenir une chronologie absolue du retrait de l'inlandsis qui a mis 13.200 ans pour reculer de la Scanie jusqu'aux monts scandinaves où subsistent encore ses derniers restes. En observant la plus ou moins grande épaisseur des feuillets grossiers on a pu noter la succession d'étés plus chauds. En combinant ces indications avec les résultats remarquables des analyses de pollens, on a pu établir pour une période de 13.000 ans, une étonnante reconstitution des climats préhistoriques scandinaves et de la flore qui leur correspond, ceci corrélativement avec les variations de niveau de la mer Baltique.

1.000 ans :	Mer à *Mya arenaria*	Forêt de hêtres.
2.500 ans :		Hêtres, sapins.
	Mer à *Littorines*	
4.000 ans :		Chênes, ormes, tilleuls.
6.000 ans :	Lac à *Ancylus*	Coudriers.
8.000 ans :		Pins dominant.
	Mer à *Yoldia arctica*	
10.000 ans :		Flore à Dryas, pins, bouleaux.

A côté de ces détails précis, obtenus sur des dépôts si peu troublés, nous aurons de grosses incertitudes sur d'autres terrains qui auront été déplacés ou bouleversés : c'est avec surprise que l'on retrouve une plage marine dont les sables contiennent des mollusques d'eau très froide (*Cyprina islandica*, *Mya truncata*, *Buccinum undatum*), à 100 mètres d'altitude au-dessus de la mer ; et, par contre, un rivage homologue avec les mêmes fossiles sera par sondages repéré à la côte de — 100 à — 200 mètres sous les flots. La première de ces plages se trouve en Sicile où le volcanisme récent est responsable de cette ascension ; l'autre se trouve au cap Creus en Roussillon où un effondrement l'a profondément noyée.

Sur une colline dominant Tunis [1], nous pouvons marcher sur un sol quaternaire ancien reposant sur un dépôt pliocène à hélix, et, à quelques dizaines de mètres seulement de nous, un sondage n'a pu retrouver ce sol qu'à la profondeur de — 200 mètres. Il est impressionnant de penser que ce terrain que l'homme préhistorique a connu à une date qui, à l'échelle géologique, est récente, se trouve déjà englouti sous les centaines de mètres d'alluvions d'un bassin de subsidence.

Outre ces mouvements verticaux de masses, il y a parfois des mouvements de bascule pouvant entraîner des discordances, c'est-à-dire le non-parallélisme de couches superposées. L'exemple de la colline du Signal de Gafsa (Tunisie) est devenu classique depuis l'importante étude qu'en a fait R. Vaufrey [2]. En ce point les cailloutis torrentiels qui contiennent de gros instruments de silex acheuléen sont inclinés à 40° tandis que le niveau contenant les éclats taillés Levallois plus récents est horizontal. Les hommes ont donc assisté là aussi à ce mouvement de bascule, mais il n'est pas certain du tout qu'ils s'en soient rendu compte, car la déformation a pu s'effectuer très lentement.

En dehors de ces mouvements importants dus au volcanisme ou à la subsidence, c'est-à-dire à l'enfoncement lent des bassins de sédimentation, il y a des mouvements très répandus, mais plus localisés, appelés solifluxions, qui sont des glissements de terrain sur les pentes. La plupart de ces solifluxions sont à rattacher à divers bouleversements de terrains dus au froid, que l'on appelle pour cela « cryoturbations » [3]. Ces phénomènes sont encore actifs aujourd'hui dans les diverses régions péri-arctiques. Ils sont donc d'un grand intérêt pour le géologue qui peut déduire de leur mécanisme et des climats qui les provoquent actuellement les températures qui ont pu régner autrefois dans nos pays où ils ont laissé leurs traces.

1. G. Castany, *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Tunisie*, 1949, p. 4.

2. R. Vaufrey, *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 1932, p. 299.

3. A. Cailleux, *Etudes de Cryopédologie. Centre de Documentation Universitaire*, 1948, 68 p., 59 fig. (Publication des Expéditions polaires françaises.)

Parmi ces cryoturbations, les divers types de sols plissés, contournés, injectés, dont le bouleversement évoque, en petit, les grands mouvements tectoniques de l'écorce terrestre, résultent soit de glissements des portions les plus superficielles dégelées pendant l'été et transformées en pâte (mollisol) glissant sur le fond résistant constitué par les couches profondes perpétuellement gelées (tjäle), soit des différences de plasticité, d'inbibition, de densité, des couches [1]. De ces deux modes d'action, souvent combinés, peuvent résulter les contournements les plus bizarres et les plus variés.

Lorsque des galets se trouvent englobés dans ces remaniements, leurs traînées se trouvent souvent incurvées, redressées à la verticale ou même renversées. Sous leur propre poids, de grands morceaux d'une couche plus dure parfois regelée à l'automne, arrivent à s'enfoncer doucement dans les couches sous-jacentes plus imbibées et plus molles, couches argileuses souvent, qui cèdent la place en s'injectant vers la surface, sous forme de bouillie, à travers les fissures des couches sus-jacentes. De telles formes se retrouvent dans un très grand nombre de nos terrasses alluviales.

A condition de pouvoir bien les distinguer des solifluxions non dues à des actions glaciaires, telles que les coulées boueuses ou laves fluviatiles [2], ces plications et involutions permettent de déceler sur les coupes les niveaux de climats froids. L'abbé Breuil a été avec Milon un des premiers à signaler ces solifluxions glaciaires en France. Il les a étudiées particulièrement dans la Somme et à Chelles [3]. Patte a décrit celles de Pontpoint (Oise), Bastin et Cailleux celles du Bordelais, Bourdier celles du bassin du Rhône ; Tricart a retrouvé près de Saverne les traces de deux époques de cryoturbation dont l'une, très ancienne, datant du début du Quaternaire, aurait été retrouvée également dans le Massif Central et près de Liège. Bordes enfin, étudiant les loess du Bassin de Paris, a décrit plusieurs cryoturbations et a montré la difficulté de les dater de façon précise [4].

D'autres modes de cryoturbation sont beaucoup plus indiscutables quant à leur origine glaciaire : ce sont les fentes en coin et les sols polygonaux.

1. H. Alimen, *Bull. de la Soc. Géol., de Fr.* 1950, p. 107.

2. A. Cailleux et Tricart, *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 1950, n. 1.

3. H. Breuil, *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 1934, p. 269. — Y. Milon et Dangeard, *C. R. de l'Ac. des Sc.*, juillet 1928. — H. Breuil, *Quartar*, 1939.

4. Patte, *Bull. de la Soc. Géol., de Fr.*1941, p. 295. — Bastin et Cailleux, « Action du gel et du vent au Quaternaire », *Bull. Soc. Géol. Fr.*, tome XI, n. 7, 8, 9, pp. 259-266, fig. 1-5, pl. VI, 3 nov. 1941. — Tricart, *C. R. s. Soc. Géol.*, 1949, p. 224. — F. Bordes, *C. R. s. Soc. Géol.*, 1950, p. 35.
A. Cailleux, *C. R. s. Soc. Géol.*, 1947, p. 67.
E. Basse, *C. R. s. Soc. Géol.*, 1949, p. 280.

Les fentes en coin (Icewedges) sectionnent verticalement les couches sur des hauteurs de 1 à 10 mètres. Actuellement comblées de sables ou de limons, elles ont été autrefois remplies par la glace qui les a formées comme elles le sont encore en Sibérie et Alaska. A l'état fossile, on les trouve en Ile de France, Seine-Inférieure, Loire-Inférieure, Maine et Loire, Bordelais. Elles sont liées à un climat continental très sévère du type sibérien (moyenne : — 5, —12) [1].

Les sols polygonaux se forment actuellement au Spitzberg avec une température annuelle de -1, -5, en climat relativement humide. En plan ils se présentent comme un réseau de mailles de forme polygonale, dessinées par des lignes de cailloux sur un fond limoneux. En coupe les cailloux s'ordonnent généralement en cuvettes tangentes plus ou moins profondes formant feston. Les pierrailles, horizontales au fond, passent à la verticale sur les bords. Des courants de convexion dans des matériaux fins devenus fluides au moment du dégel, sont généralement tenus pour responsables de cet agencement des pierres [2]. On a trouvé de ces sols polygonaux à Brignogan et Plouguerneau (Finistère), aux Moutiers (Loire-Inférieure), en Picardie, en Charente, dans les Pyrénées [3]. H. Alimen en a décrit de forts intéressants par leur situation dans la grotte charentaise des Moutiers, riche en industrie humaine [4]. Ce sol remanie les instruments préhistoriques, solutréens et magdaléniens 3 ; il nous montre qu'au climat rude, froid et très sec de ce magdalénien à antilope Saïga, a succédé le froid plus humide qui a permis la formation des polygones lors des dégels partiels. Sur les pentes les sols polygonaux s'étirent jusqu'à former des traînées parallèles, appelées sols striées [5].

Les zones à galets dressés, si nombreuses dans les *heads* des côtes bretonnes [6], mais trouvés aussi en d'autres points, tels les terrasses de la Garonne ou celles de Basse Alsace sont les équivalents grossiers des sols polygonaux [7]. Les *heads* sont constitués de blocaille, noyés dans des limons qui les ont charriés lorsqu'ils étaient saturés d'eau.

Certains dépôts de pentes sont des « *éboulis ordonnés* » où blocs et cailloutis sont triés par tailles en traînées grossièrement équidistantes, sans parti-

1. A. Cailleux, *Etudes de Cryopédologie*, 1948.

2. B. Romanovsky et A. Cailleux, « Sols polygonaux et fentes de dessication », *Bull. de la Soc. Géol. Fr.*, tome XII, pp. 321-327, fig. 1, pl. VIII, 1942.

3. A .Cailleux, « Les actions éoliennes périglaciaires en Europe », *Mém. Soc. Géol. Fr.*, nouv. sér., tome XXI, n. 46, pp. 1-176, 27 fig., V pl., 1942. — A. Cailleux et P. Hupe, « Présence de sols polygonaux et striés dans les Pyrénées françaises », *C. R. de l'Ac. Sc.*, tome CCXXV, 1947, pp. 1353-1355.

4. H. Alimen, *Bull. Soc. Pr. Fr.*, 1950, p. 286.

5. B. Romanovsky et A. Cailleux, « Festons au sommet de la craie de Normandie », *Bull. Soc. Géol. Fr.*, tome XIII, 1943, pp. 177-180, 2 fig.

6. L. Bertois et L. Dangeard, *B. S. G. M. B.*, 1943, p. 177. — R. Mazère, *C. R. s. S. G. M. B.*, déc. 1935.

7. Bastin et A. Cailleux, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1941, p. 250. — Tricart, *C. R. s. S. G.*, 1947, p. 68.

cules pour combler les vides. Les « grèzes » des Charentes (Vindelle, Citerne d'Aigre) dépôts de cryo-nivation ont été étudiés par Guilien et lui ont fourni un des éléments des reconstitutions *climatiques* qu'il a effectuées pour la région des Charentes [1] mais qui ont probablement une valeur plus générale. Ce sont des dépots de même ordre, constitués de blocs anguleux dus au gel qui, étalés par les eaux, forment les terrasses climatiques de Tricart.

C'est par suite d'une classification tout artificielle que nous parlerons maintenant de la position des divers éléments dans les sédiments : leur étude n'est guère séparable de celle de la forme et de la pente des couches.

En fait, nous avons déjà parlé des galets dressés par les actions glaciaires. Dans les alluvions non remaniées les galets ne sont pas placés indifféremment et des conclusions peuvent être tirées de leur situation. Sur les plages marines ils sont parallèles au rivage ; dans les cours d'eaux ils s'allongent perpendiculairement au courant. Le sens de celui-ci est indiqué par l'inclinaison des galets : la surface supérieure de ceux-ci regarde vers l'amont et ils sont plus redressés dans les formations fluviatiles (15 à 30°), que sur les grèves marine, (3 à 15° ici pour des aplatissements usuels) [2].

Tandis que dans un éboulis ordinaire les blocs anguleux sont presque tous couchés à plat sur la pente où parallèlement à elle, dans les *éboulis ordonnés* comme dans les *coulées de blocaille* liées aux cryoturbations, 60 à 95 % des blocs cessent d'être parallèles à la pente et relèvent du nez.

Dans les épandages torrentiels la plupart des blocs sont allongés en travers du courant ; dans le cas des coulées boueuses ou laves torrentielles de climat tempéré, 55 à 70 % des blocs sont déjà allongés selon la pente ; dans le cas de cryoturbation, 65 à 90 % sont dans le sens de la pente ; chose étonnante et inexpliquée, dans les coulées de blocailles sans limon, les blocs, non seulement relèvent du nez, mais beaucoup sont posés sur la tranche. D'autre part, alors que la pente d'un éboulis ordinaire est de l'ordre de 30 à 37°, les éboulis liés au dégel et aux nivations, ont des pentes qui varient seulement de quelques degrés à 30°. [3]

On le voit la disposition des gros éléments est assez bien connue ; par contre celle des éléments moyens et fins, graviers et sables, est un domaine encore à peu près inexploré. Il sera peut-être fertile en résultats en ce qui concerne les reconstitutions paléogéographiques et paléoclimatiques qui nous occupent.

1. GUILIEN, *Bull. Soc. Pr. Fr.*, 1943, p. 41., GUILIEN à cette occasion s'élève contre la dénomination d' " éboulis " pour ces " grèzes litées " des Charentes dans lesquelles il voit des dépôts façonnés par gel et dégel en bordure de névés, puis fluant sous ceux-ci comme une lave froide.
Y. MILON et P. HEOER *C. R. s. Soc. Géol. de Fr.*, 1943, p. 84.

2. A. CAILLEUX, « L'orientation des galets dans certaines formations marines », *Bull. Soc. Géol. Fr.*, tome IV, 1934, pp. 3-12, 4 fig., 1 pl. — A. CAILLEUX, « Distinction des galets marins et fluviatiles », *Bull. Soc. Géol. Fr.*, tome XV, 1945, pp. 375-404, 10 fig.

3. A. CAILLEUX, *Etudes de Cryopédologie*, 1948. — A. CAILLEUX, « Caractères distinctifs des coulées de blocailles liées au gel intense », *C. R. s. Soc. Géol. Fr.*, n. 15-16, 1947, pp. 323-324.

Étude morphoscopique des galets

Après l'étude des dispositions d'ensemble et de détails des sédiments, il faut envisager l'aspect individuel des éléments.

M. Cailleux a examiné la forme des galets et traduit ses observations en chiffres et en courbes [1]. Il mesure leur *aplatissement* : $\frac{L + l}{2 E}$ c'est-à-dire le total longueur plus largeur divisé par le double de l'épaisseur. Il constate ainsi que pour une même nature de roche, non schisteuse, les galets fluviatiles sont toujours moins aplatis que les galets marins.

Une exception intéressante existe pourtant pour les galets calcaires fluviatiles qui peuvent être, dans certains cas, très aplatis. Comment alors les distinguer des galets marins calcaires ? Par leur *dissymétrie* toujours plus forte pour les galets fluviatiles. Cette dissymétrie est mesurée par la distance du point d'intersection, longueur largeur, à l'extrémité la plus éloignée du galet ; distance que l'on divise par la plus grande longueur.

« Quant aux forts aplatissements des calcaires dissymétriques, Cailleux émet l'hypothèse qu'ils sont dus à la dissolution par les eaux fluviales fraîches plus riches en gaz carbonique que les eaux chaudes d'un côté, et que les eaux de fonte glaciaire de l'autre. » Cherchant à vérifier cette hypothèse dans le cas des alluvions quaternaires où se succèdent faune chaude et faune froide, il a étudié les galets calcaires des environs de Mussey (Meuse). Les alluvions actuelles de l'Ornain lui ont donné comme aplatissement du galet calcaire de rang moyen : 2, 5. Des alluvions quaternaires à mammouth, donc de climat froid, à Laimont, ont donné : 3, 4. Des alluvions quaternaires, mais à éléphas antiquus, dont tempérées chaudes, ont à Mussey donné : 2, 0. Résultats vraiment démonstratifs que nous pourrons généraliser lorsque quelques autres contrôles auront été faits. En l'absence de faune nous pourrons donc sans doute bientôt attribuer un climat frais ou froid aux alluvions à galets calcaires dissymétriques très aplatis. (3, 5 à 1, 7)

Cailleux a défini un *indice d'émoussé* de galets en divisant par la moitié de la plus grande longueur du galet, le rayon de courbure de la portion la plus convexe du contour du galet posé à plat sur une cible graduée en cm. Pour les galets calcaires cet indice permet de suivre la marche de l'usure

1. A. Cailleux, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1945, pp. 375-404.
Bout, *C. R. s. Soc. Géol. de F.*, 1949, p. 15.

fluviatile mais ne permet pas de distinguer les galets de rivière des galets marins comme on peut le faire par la dissymétrie.

Pour le silex la différence est beaucoup plus grande : un indice inférieur à 100 caractérise un dépôt de fleuve ou de plage calme ; supérieur à 200 il caractérise les dépôts marins ce qui a permis de repérer des éléments marins dans l'Eocène du S. E. du Bassin Parisien. Pour les galets de quartz, les distinctions entre les transports fluviatiles et les transports marins ne sont pas possibles ; néanmoins on peut suivre par la croissance de l'indice d'émoussé le sens du transport[1]. Il en est de même pour les galets volcaniques durs et les gneiss.

La recherche de « l'indice d'émoussé est un moyen simple et fidèle d'apprécier les actions dynamiques subies par des galets et à ce titre il pourra contribuer à la diagnose des conditions de dépôts et par suite aux reconstitutions paléographiques. » Une étude récente de Tricart sur les galets du Gabon nous donne l'espoir de pouvoir distinguer, par leur altération et par l'étalement des courbes d'indices d'émoussé traduisant une grande rapidité d'usure, les galets façonnés sous climat tropical[2].

Bien d'autres galets ou pierrailles peuvent, uniquement par leur aspect, nous apporter quelques bribes du passé. Ces galets glaciaires par exemple nous montrent leurs groupes de stries parallèles : autant de groupes que de changements de position de la pierre dans son long transport, plaquée par le poids des glaces sur le fond où les flancs de la vallée comblée. Presque semblables, mais sans avoir ces beaux parallèlisme, ces galets autrefois piétinés chaque jour par les hommes préhistoriques sur le sol couvert d'éclats aigus de silex d'une grotte ou d'un campement. (podolithes)

Ces pierrailles, toutes couvertes de cupules, nous racontent les froids intenses qu'elles ont subis sous des climats sibériens lorsqu'au matin le soleil réchauffait leur surface gelée, l'arrachait écaille par écaille, les laissant toutes couvertes de cicatrices ombiliquées[3]. Ce galet là, trop poreux, a été fissuré par la force irrésistible de fines aiguilles de glace ; celui-ci, cailloux saharien calcaire, est couvert de vermiculures : action combinée de la rosée et du vent peut-être ?

Une catégorie spéciale est celle des cailloux éoliens (dreikanters des auteurs allemands). Ces pierres façonnées par le vent présentent des arêtes linéaires doucement sinueuses, très nettes quoique délicatement émoussées

1. Des travaux récents ont montré que l'émoussé définitif était acquis très rapidement, ce qui réduit considérablement dans l'espace l'utilisation du procédé pour déduire un sens du courant.

2. Sur la question de « l'indice d'émoussé » :
A. Cailleux, « L'indice émoussé : définition et première application », *C. R. s. Soc. Géol. Fr.*, n. 13-14, 1947, pp. 251-252. — G. Bouillet et A. Cailleux, « L'indice d'émoussé des silex », *C. R. s. Soc. Géol. Fr.*, 1948, pp. 166-167, et 1949, p. 223. Tricart, *C. R. s. Soc. Géol. Fr.*, 1950, p. 224 et *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1947, p. 784.
Tricart et Cailleux *C. R. s. Soc. Géol. F.*, 1946, p. 112.
Romanowsky et Cailleux, *Bull. Soc. Géol.*, 1942, p. 321.

3. H. Alimen, *Bull. Soc. Pr. Fr.*, 1944, p. 56.

et lisses au toucher. Entre les arêtes les faces sont polies, un peu luisantes, parfois creusées de cupules allongées. Si la pierre est veinée de lignes plus dures, celles-ci sont mises en relief. Sur les blocs trop volumineux pour avoir été déplacés le sens de ces cupules indique la direction du vent dominant à l'époque de leur formation, celle du dernier grand glacier quaternaire ; vents anticycloniques venant chez nous du Nord-Est [1].

Examen morphoscopique des grains de sable

La technique de l'étude morphoscopique des grains de sable est en résumé la suivante [2] : on utilise de 2 à 6 gr. de sable qui peut-être préalablement tamisé pour une taille déterminée : 0, 7 mm. ou 0, 3 mm., mais c'est généralement inutile.

Ces grains sont traités si nécessaire, par l'acide chlorhydrique pour détruire toute gangue calcaire (acide froid dilué) ou croûte ferrugineuse, (acide concentré chaud). On les lave ensuite à l'eau dans un verre de montre où la pulpe du doigt les frotte longuement. Après séchage on en charge modérement, et en évitant le glissement qui entraîne par prédilection les grains les plus lisses, une cupule de carton que l'on recouvre d'une lamelle de verre fixée par des bandes de papier collant. L'examen de la préparation ainsi faite s'effectue sous une bonne loupe binoculaire avec un grossissement 40. L'éclairage doit se faire dans des conditions précises, ce qui est essentiel : éclairage artificiel, par une source lumineuse la plus ponctuelle possible, ampoule électrique à filaments ultra courts, incidence 45°, distance 5 à 10 cm.

Les grains sont comptés par catégories. Quand un peu d'entraînement est acquis on en compte 33 ou 50 et l'on multiplie par 3 ou 2 pour avoir le pourcentage. De temps en temps l'observateur examine une plaque témoin soigneusement étalonnée pour vérifier que ses appréciations ne varient pas. On distingue 4 sortes de grains : les ronds mats, les émoussés luisants, les non usés et les ronds sales.

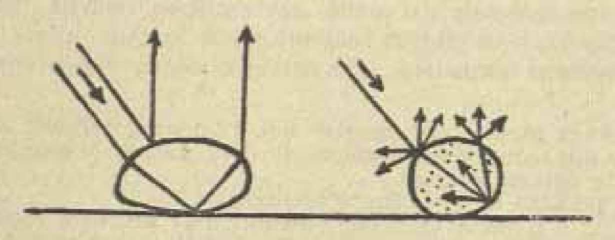


FIG. 5.
— *Formation des deux images sur le grain émoussé luisant.*
— *Difraction illuminant la totalité d'un grain rond mat.*

1. A. Cailleux, *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 1942, p. 47.
2. A. Cailleux, *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 1942.

Les *ronds mats* apparaissent comme de petites boules à surface chagrinée, uniformément lumineuse car le dépoli qui les revêt difracte les rayons lumineux (fig. 5) Ce sont des grains longtemps façonnés par le vent ; grains de dunes leur aspect picoté est dû à des centaines de points d'impacts produits par le choc de ces grains les uns contre les autres.

Au contraire, les grains *émoussés luisants* laissent voir par transparence le fond noir de la préparation et à leur surface deux taches claires brillent intensément. La plus petite est l'image réfléchie de la source lumineuse ; l'autre en est également l'image mais deux fois réfractée (fig. 5). Ces grains émoussés ont été façonnés dans l'eau des rivières ou des plages.

Les grains *non usés* ont des formes anguleuses les plus variées ; parfois cristaux réguliers ; quartz bipyramidés par exemple, plus souvent cristaux brisés par des cassures conchoïdales. Ils proviennent le plus souvent de la désagrégation physique ou chimique des roches éruptives ou métamorphiques, granit et gneiss et pour une petite part de filons quartzeux.

Les grains *ronds sales* sont des grains que le lavage, ni même parfois l'acide chlorhydrique n'ont pu débarrasser des restes d'un ciment généralement ferrugineux qui les englobait car ce sont les grains qui ont été longtemps fixés entre eux formant des grès. Parfois ces grains quartzeux sont revêtus de petits cristaux de néoformation qui les soudaient en une sorte de quartzite. Beaucoup de grès tertiaires d'origine terrestre, sont dans ce cas ; (grès à Sabals tertiaires, grès armoricains siluriens aussi).

Les grains de très petite taille restent toujours non usés échappant à l'action de l'eau comme à celle du vent. Les actions abrasives s'observent au mieux pour les tailles de 0, 7 mm. environ. Etudiant l'usure des grains aux autres tailles, Cailleux a constaté que la mer use des grains à des tailles beaucoup plus petites que ne le font les cours d'eau et, après étude statistique, il put conclure : si à la taille de 0, 3 mm., le pourcentage des grains émoussés luisants est supérieur à 30 %, l'usure de la mer est certaine ; s'il est compris de 20 à 30 % elle est extrêmement probable [1].

L'étude morphoscopique des grains de sables, ainsi que celle des cailloux éoliens, a permis à Cailleux d'établir en une vaste synthèse l'importance des actions éoliennes quaternaires sur toute la bordure de l'Inlandsis avec vents anti cycloniques venant du Nord Est [2].

Il a montré que cette action est nette dès le début du quaternaire, avant même la classique période chaude chélléenne. Par cette méthode il a apporté la preuve d'une émersion du fond de la mer du Nord jusqu'à moins de 60 mètres, au moment où s'exerçait cette intense action du vent. L'abondance des grains ronds mats est devenue une véritable caracté-

1. A. Cailleux, « Distinction des sables marins et fluviatiles », *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. XIII, 1943, pp. 125-138, 7 fig.

2. Pour d'autres auteurs les vents dominants étaient O., ou S.-O., accumulant neiges et loess sous le vent des collines. Wernert a envisagé une origine africaine des éléments fins de certains loess en montrant qu'historiquement des poussières ont, de Tunisie, atteint la Pologne.

ristique du terrain quaternaire et son procédé est devenu courant.

Cailleux appliquant ces méthodes morphoscopiques conjointement avec l'étude pétrographique des galets, a étudié les alluvions du confluent Seine-Marne [1]. Il a pu déterminer les anciennes variations du cours et les recoupements de méandres selon les niveaux de terrasses. La composition des alluvions en grains de divers types est en effet remarquablement constante pour un même cours d'eau et pour une même portion comprise entre deux affluents. Cette étude a de plus confirmé la précocité des actions éoliennes quaternaires qui apparaissent dès les terrasses de 85 et 90 m. c'est-à-dire dès le début de l'époque avant les faunes chaudes. Après un maximum correspondant vraisemblablement à l'époque paléolithique supérieure, une diminution nette de l'action du vent s'est produite, due, sans doute, à la reprise de la végétation ; néanmoins ces actions persistent localement comme le prouvent les dunes pré-néolithiques de Fère en Tardennois et de Dourdan (S. et O.) [2].

Melle G. Bouillet étudiant les gravières des environs de Bourges a noté que ces actions éoliennes concordent avec deux groupes de cryoturbations [3]. Cailleux a montré pour la sablière de Port d'Envaux (Charente) le contraste entre l'abondance des grains ronds mats au Moustérien et leur relative rareté à l'époque Acheuléenne [4].

L'intérêt de la distinction des sables marins et fluviatiles est grand car on peut espérer pouvoir débrouiller petit à petit, grâce à ce critère des émoussés luisants de 0, 3, les estuaires complexes, tel celui de la Loire, et aussi les difficiles questions de liaison entre les terrasses fluviatiles et les plages marines.

La méthode morphoscopique est susceptible d'applications plus proprement archéologiques ; c'est ainsi que Cailleux « a pu reconnaître que le sable utilisé par les Romains cimentant les pierres du théâtre de Lyon ne provenait ni du Rhône ni de la Saône ni de l'Ain, ni du glaciaire ni du pliocène, mais d'un petit affluent du Rhône ; l'Yseron. Le mortier plus gros des fondations est en revanche un sable de Saône. » [5] On pourra étudier de cette façon les dégraissants quartzeux des anciennes poteries.

1. A. Cailleux, « les alluvions anciennes de la Seine et de la Marne qu voisinage du confluent », *Bull. de la Carte Géol. de Fr.*, n° 212, t. XLIV, 1943.

2. Alimen et A. F. de Lapparent, *C. R. s. Soc. Géol.*, 1946, p. 173. A. Cailleux, « Une dune fossile à Dourdan », *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. XII, 1942, pp. 229-232, 1 fig., 1 pl. Des travaux récents ont montré que les grains ronds mats peuvent être produits par d'autres actions que celle du vent, en particulier le thermoclastisme (action des variations de température). Il n'en reste pas moins que cette action s'exerçant dans les mêmes circonstances que l'action éolienne, déserts périglaciaires ou tropicaux, il s'agit toujours d'une action aérienne et que la valeur des travaux Cailleux ne s'en trouve pas altérée.

3. G. Bouillet, *C. R. s. Soc. Géol.*, 1948, p. 142 et 1949, p. 322.

4. A. Cailleux, « Les formations superficielles de la feuille de Saintes au 1 /80.000 », *Bull. Carte Géol. de Fr.*, n. 221, tome XLVI, 1945-46, pp. 131-137, 1 fig.

5. A. Cailleux, « Sur quelques sables des environs de Lyon. Essai d'expertise », *Bull. Soc. Linnéenne de Lyon*, n. 6, 1939, pp. 166-169.

Étude lithologique des galets

Le dénombrement des galets ou blocs d'une ou plusieurs tailles données, effectué selon la nature diverse des roches, est capable d'apporter des renseignements à la paléogéographie en caractérisant les apports alluviaux de tel ou tel cours d'eau. En effet, les graviers de 5 à 10 cm., ont une grande constance de composition pour un même fleuve. Nous avons déjà vu que Cailleux a appliqué cette méthode à l'étude du confluent Seine-Marne. Le Dr Bastin s'en est servi pour l'étude du confluent Dordogne-Garonne [1].

Dans les grottes même, lorsqu'il y a eu des apports extérieurs et que toutes les pierrailles ne viennent pas des parois, la méthode peut être appliquée. C'est ce qu'a fait Mlle Dutrievoz, dans les grottes des Furtins, elle a montré ainsi l'existence dans les pierrailles de niveaux successifs : les uns résultat d'apports verticaux de calcaires bajociens venus des parois et des fissures de la roche, les autres d'apports horizontaux de calcaires sinémuriens venus de l'extérieur [2].

Les Minéraux lourds

Dans le mélange des minéraux solides constituant pour une part les sédiments, les uns comme le quartz, la calcite, le gypse, les feldspaths, sont banaux. Ils ont des densités voisines ou inférieures à celle du bromoforme [3]. D'autres, de densité élevée, sont plus rares, mais leur valeur est grande quand il s'agit de déterminer l'origine des sédiments. On les appelle les minéraux lourds.

Pour les isoler, on élimine les parties très fines, on traite la roche meuble ou broyée par les acides chlorhydriques et azotiques [4]. On jette les grains à la surface d'un entonnoir à robinet rempli de bromoforme ; les grains y flottent sauf les minéraux lourds. En agitant on facilite leur chute vers le fond. Après lavage à l'alcool, ils sont montés dans le baume du Canada [5]

1. Bastin, *Bull. de la Soc. Linnéenne de Bordeaux*, 1942.

2. A. Leroi-Gourhan, « La grotte des Furtins », *Préhistoire*, 1950, tome II, p. 126-131.

3. Liquide de densité élevée : 2,9, sur lequel flotte le quartz.

4. Brajnikov, Francis-Bœuf, Romanovsky, *Technique d'étude des sédiments*, Hermann, 1943.

5. C'est une résine ayant même indice de réfraction que le verre.

entre lame et lamelle de verre. Si l'on veut séparer une fraction plus légère, il suffit de diluer lentement le bromoforme avec de l'alcool par exemple. Certains minéraux peuvent être isolés par un électro-aimant, tels la magnétite, la chromite, le wolfram, le grenat. Des liqueurs lourdes telles que l'iodure de méthylène ou la liqueur de Clérici (densité : 5) permettent aussi de séparer certains groupes de la même façon que par le bromoforme.

Les lames préparées sont examinées au microscope polarisant [1]. L'identification des cristaux s'effectue selon un ensemble de caractères ; forme, couleur, clivage, indice de réfraction, biréfraction, angles d'extinction [2]. On effectue le pourcentage des espèces rencontrées. Les minéraux lourds, comme du reste le quartz, proviennent en première origine de roches éruptives surtout anciennes, telles que les granits et granulites. Ils peuvent en venir soit directement (cas des arènes), soit par l'intermédiaire de roches métamorphiques, gneiss par exemple, ou de tout autre roche sédimentaire remaniant ces minéraux.

Or, chaque massif éruptif ancien se caractérise par une association définie de certains minéraux lourds, en certaine proportion, à l'exclusion des autres. On a donc la possibilité dans un vaste bassin, comme celui de la Seine, d'identifier les apports lointains venus du massif Central, de l'Armorique, des Vosges, etc., ou même de portions plus définies de ces mêmes massifs. Il faut évidemment tenir compte de multiples remaniements, croisements, mélanges. Les minéraux des loess parisiens viennent du Massif Central ; le vent les a repris dans les alluvions des rivières [3].

Des études d'Edelman, sur les minéraux lourds de la mer du Nord, combinées avec les études morphoscopiques de A. Cailleux on a pu conclure à la longue émersion de ses fonds jusqu'à — 60 m., avec apport de sables par les fleuves et les glaciers scandinaves et anglais [4].

MM. Milon et Lucas ont montré que l'abondance des granules verts de Glauconie [5], dans certains sables rouges sans fossiles de l'Ile-et-Vilaine, les séparent des terrains quaternaires et montrent leur origine marine et pliocène [6]. Ce résultat a été confirmé par les examens morphoscopiques de

1. Microscope à platine tournante permettant la rotation du cristal examiné qui est éclairé par de la lumière polarisée. C'est une lumière modifiée par passage dans un prisme spécial dit « nicol » de façon que ses vibrations s'exécutent dans un plan déterminé au lieu de se faire dans tous les sens.

2. Angles d'extinction : angles sous lesquels un cristal recevant la lumière polarisée reste sombre.

3. Cayeux, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1922. — Nicolesco, *C. R. s. Soc. Géol. Fr.*, 1938, p. 310.

4. Edelman, « Les limons et les sables de couverture des Pays-Bas », *Sess. Extr. Soc. belges de Géol.*, 19-26 sept. 1946, pp. 303-310, 4 fig. et pp. 465-466. — A. Cailleux, *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 1942, n. 36.

5. Minéral mi-lourd, densité : 2,4, vert foncé. Silicate complexe d'aluminium fer et potassium caractérise par son abondance les transgressions marines.

6. Y. Milon, *C. R. Ac. Sc.*, déc. 1929. — *C. R. s. Soc. Géol. Fr.*, avril 1937.

M. Cailleux qui a rencontré en abondance des grains émoussés luisants de grande et petite taille [1].

La recherche des minéraux lourds permet de déterminer si un sol provient bien de l'altération de la couche sous-jacente ou s'il y a eu apport [2]. On attribuait aux limons quaternaires qui couvrent le nord de la Bretagne, une origine uniquement éolienne et on les croyait issus des boues calcaires de la Manche desséchée au moment des extensions glaciaires. Des travaux de Berthois sur les minéraux lourds de ces limons, il résulte que l'origine de ces formations est locale et que les minéraux lourds proviennent des roches vertes du sud et que leur proportion décroît progressivement vers le nord [3].

Les minéraux lourds peuvent, pour une part, contribuer à établir l'identité de deux couches séparées ; l'identité par exemple de deux lambeaux, restes d'une même terrasse alluviale. Dans un gisement moustérien à l'Ouest de la France, la quantité totale de minéraux lourds par couche décroît régulièrement de la base vers le sommet. Le pourcentage des minéraux lourds trouvés dans deux couches isolées, situées latéralement, permet de les replacer dans l'échelle stratigraphique du gisement en les intercalant dans les couches précédentes d'où l'érosion les avait enlevés.

Des études sur les minéraux lourds, on peut souvent, par ailleurs, tirer des conclusions plus locales dans le genre de celle-ci : au moment où les hommes préhistoriques habitaient telle caverne d'où les chassaient périodiquement les inondations du ruisseau voisin, l'érosion de telle partie d'un massif proche n'était pas commencée, car on ne trouve pas ses minéraux lourds dans les alluvions anciennes alors qu'on les trouve dans les couches les plus récentes. Ou bien encore : tel ruisseau n'était pas encore capté par la vallée où se trouvait cette station préhistorique, une langue glaciaire l'en isolait et il coulait vers un autre bassin où l'on retrouve son cours caractérisé par des minéraux lourds inconnus dans les couches anciennes de ce versant ; versant, par contre, où l'on retrouve des minéraux différents apportés par la moraine du glacier.

On conçoit donc que la recherche de ces petits minéraux rares puisse concourir grandement à la reconstitution des paysages préhistoriques, dont ils nous restituent l'hydrographie et indirectement le climat. Si les observations de Mlle Duplaix sur les mouvements des minéraux lourds, dans les sables actuels de la pointe de la Coubre, en fonction de la direction et de la vitesse du vent et aussi de l'état de la mer peuvent un jour être transposées dans le domaine des plages ou des dunes fossiles, nous obtiendrons des précisions étonnantes sur les conditions météorologiques anciennes [4].

1. Confirmé aussi par la présence sous ces sables à Champeau (I.-et-V.) de rochers perforés par des mollusques marins : les pholades.

2. Brajnikov, *Bull. Soc. Géol.*, 1942, p. 286.

3. Y. Milon, *Bull. Ass. Géol. Fr.*, janv. 1933.

4. S. Duplaix, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1950, p. 239.

Granulométrie

Après l'étude des formes d'ensemble puis celle des formes individuelles d'éléments qui revêtait déjà un aspect quantitatif (numération des grains selon leur forme, numération des minéraux lourds selon leur espèce), nous envisagerons l'analyse limitée aux seules dimensions des constituants indépendamment de leur nature.

L'analyse granulométrique est un procédé statistique, applicable aux sédiments, qui permet de déterminer la fréquence des éléments qui les composent en fonction de leur taille. Cette taille varie depuis celle des blocs jusqu'aux particules colloïdales en passant par les galets, les graviers, les granules, les sables, les poudres et les pré-colloïdes.

Mode de représentation [1].

Les résultats chiffrés des analyses granulométriques, sont figurés soit par des *histogrammes* où pour chaque taille ou plutôt par intervalles entre deux tailles d'éléments la quantité des grains est représentée par une surface proportionnelle à leur poids (fig. 6), soit par des courbes. Les histogrammes ne sont comparables entre eux que si les mêmes intervalles entre les tailles sont toujours observés, donc si l'on utilise des appareils séparateurs de grains toujours identiques.

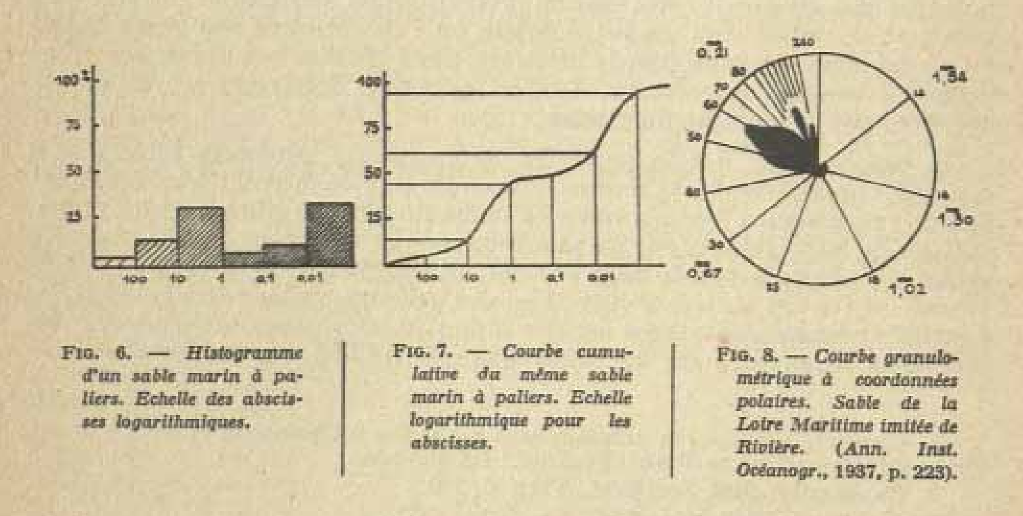


FIG. 6. — *Histogramme d'un sable marin à paliers. Echelle des abscisses logarithmiques.*

FIG. 7. — *Courbe cumulative du même sable marin à paliers. Echelle logarithmique pour les abscisses.*

FIG. 8. — *Courbe granulométrique à coordonnées polaires. Sable de la Loire Maritime imitée de Rivière. (Ann. Inst. Océanogr., 1937, p. 223).*

1. A. CAILLEUX, *Sess. Extr. Soc. belges de Géol.*, 1946, p. 91.

Les courbes sont plus pratiques, car elles sont toujours comparables à la condition d'être cumulatives et semi-logarithmiques.

Cumulatives : c'est-à-dire que, pour chaque taille inscrite en abscisse (ligne horizontale, grande taille à gauche), on porte en ordonnées (ligne verticale) une valeur correspondant au poids des grains de la taille considérée, augmentée du poids des grains de chacune des tailles supérieures. On a ainsi une courbe toujours croissante (fig. 7).

Semi-logarithmique : c'est-à-dire que sur l'axe horizontal des abscisses on porte au lieu d'une échelle arithmétique une échelle logarithmique, ce qui se justifie par le fait qu'il y a « bien plus de différence dans le comportement de deux galets de 1 et de 4 cm., qu'entre deux blocs de 100 et 103 cm. et, pourtant, l'échelle arithmétique donne, dans les deux cas, un intervalle de même longueur : 3 cm. »[1].

Or, c'est justement le comportement des grains qu'il s'agit d'élucider par ces analyses pour déceler les conditions du milieu où ils se sont déposés : torrent, rivière calme, plage marine, dune, dépôt de nivation, la fracturation par le gel, etc.

M. Rivière emploie les coordonnées polaires (fig. 8) pour avoir des courbes dont les formes seront indépendantes des unités choisies et pour avoir dans chaque secteur de la circonférence des surfaces proportionnelles au poids du sédiment pour la taille considérée [2]. L'inconvénient de ce système est que l'échelle est limitée à un tour, tandis qu'en coordonnée rectangulaire l'échelle est extensible dans tous les sens.

Technique sommaire de la granulométrie.

L'analyse granulométrique utilise des procédés variés, adaptés aux diverses tailles des grains. Par ordre de dimension décroissante on utilise : la mesure directe, le tamisage, la lévigation, la sédimentation.

Mesure directe. — Elle est utilisée pour les gros éléments supérieurs à 2 cm. qu'avec Bourcart et Cailleux nous nommerons « galets », même si leur forme est anguleuse. Comme leur morphoscopie la granulométrie des galets est surtout l'œuvre de A. Cailleux qui procède de la façon suivante [3] : un échantillon de 1 à 2 kg. du sédiment est prélevé et on mesure perpendiculairement à la plus grande longueur la plus grande largeur de chaque galet ; on constitue des lots selon ces largeurs et l'on pèse chacun d'eux.

Sur le terrain, si l'on ne veut ou si l'on ne peut sortir le galet de sa matrice, on peut employer la méthode *ponctuelle* de Hörner qui « consiste à appliquer sur l'affleurement un filet à mailles carrées ; on mesure la plus grande dimension apparente du bloc, galet ou grain, sur lequel tombe chaque nœud.

1. A. Cailleux, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1945, p. 375.
   A. Cailleux, *Sess. extr. Soc. Belg. de Géol.*, 1946, p. 91.
2. A. Rivière, *Ann. Inst. Océanogr.*, 1937, p. 213.
3. A. Cailleux, *Sess. Extr. Soc. belges de Géol.*, 1946, p. 91.

Chaque dimension ainsi obtenue est affectée d'une unité de fréquence par nœud où elle est rencontrée, d'où une courbe granulométrique ». Cette méthode ne peut être employée que dans une couche homogène et ne peut déborder sur des strates voisines.

Un procédé *photographique* permet d'opérer à loisir hors du terrain : les galets sont découpés dans l'agrandissement photographique, classés par lots selon leur longueur apparente et pesés.

La *méthode linéaire* de Hörner et Cailleux consiste à appliquer sur l'affleurement ou la coupe de terrain une ligne droite, fil tendu, mètre, canne. On opère sur une longueur de 1 m. 25, les 25 cm. représentant les vides (20 %). Pour chaque galet coupé par la ligne droite on mesure la longueur *v*, sur laquelle il est recoupé, et L*s* sa plus grande longueur apparente. « La courbe granulométrique est ensuite construite en affectant chaque L*s* d'une fréquence égale à la somme des *v*, qui lui correspondent. » Si l'on veut établir des courbes granulométriques complétées par tamisage, il faut rester dans une seule strate. Si l'on veut évaluer la grossièreté d'ensemble d'une alluvion, on dispose la droite perpendiculairement aux strates.

Des alluvions anciennes sont alignées N. S. sur un seuil séparant les vallées de l'Ornain et de l'Aisne. On les avait attribuées à une rivière coulant du Nord au Sud ; Cailleux, étudiant la taille des galets, a montré qu'au contraire le courant était Sud-Nord, car « la longueur du troisième quartile, c'est-à-dire du galet, tel que 3 /4 de la masse sont formés de galets plus courts, décroît régulièrement du Sud au Nord : Mussey, 34 mm. ; Laimont, 15 ; Le Viel Dampierre, 9 ; Ante, 5 » [1].

Tamisage [2]. — Le tamisage est un procédé simple, utilisable pour l'examen statistique de particules assez grossières. Son domaine s'étend pratiquement entre les tailles de 2 cm. et celles de 1 à 10 dixièmes de millimètre [3]. Les tamis utilisés sont formés d'un cadre généralement cylindrique et de laiton, plus rarement rectangulaire en bois, et d'un fond constitué par une toile métallique de bronze ou une tôle percée. Ces tamis sont emboîtables et forment par empilage des jeux où la taille des mailles suit de haut en bas un ordre décroissant.

Les dimensions des mailles des tamis n'ont pas fait l'objet de normes internationales, aussi les toiles industrielles utilisées sont-elles de tailles très variées. On utilise de préférence des jeux de tamis dont la dimension des mailles se rapproche au maximum de l'échelle logarithmique, dont nous avons vu les avantages.

Le tamisage à la main est long, fatiguant et irrégulier, c'est pourquoi on utilise des machines à secouer dans lesquelles la colonne des tamis reçoit

1. Paque et Cailleux, « A propos des alluvions anciennes entre Ornain et Aisne », *C. R. s. Soc. Géol. Fr.*, tome CCXVII, 1943, pp. 214-216.

2. Gesnner, *Analyse mécanique*, Paris, Dunod, 1937. — Brajnikov, Francis-Bœuf, Romanovsky, *Technique d'étude des sédiments*, Paris, Hermann, 1943.

3. Théoriquement ce domaine est beaucoup plus vaste puisque les papiers-filtres peuvent être considérés comme des tamis.

un mouvement de va-et-vient par un excentrique, actionné par un moteur électrique (fig. 9). Le tamisage ne doit pas être poursuivi trop longtemps car, quelle que soit la durée du tamisage, il passera toujours quelque chose à travers les mailles par effet de mouture, usure ou fracturation des grains. En pratique pour un sable quartzeux, cas de beaucoup le plus fréquent, 40 minutes sont suffisantes. De toute façon, on adopte un temps de tamisage constant pour avoir des résultats comparables.

Le tamisage en présence d'eau, soit par arrosage des tamis, soit par immersion, favorise grandement la séparation des éléments fins quand ils sont nombreux comme c'est le cas pour les vases, mais ce procédé a l'inconvénient de retenir sur les tamis les plus fins des particules un peu plus petites que la largeur de la maille ; parties qui ne traverseront ce tamis qu'après séchage du résidu. On admet, ce qui n'est qu'approximatif, qu'un tamis donné retient les grains dont la plus grande longueur est supérieure au côté de la maille du tamis. Après tamisage et éventuellement séchage à l'étuve à 100° jusqu'à poids constant, le contenu de chacun des tamis est pesé et la courbe cumulative est construite en fonction des poids de sédiments ayant franchi telle maille et de la taille de cette même taille.

M. Rivière a utilisé uniquement le tamisage dans son étude des sédiments sableux mais avec des tamis descendant jusqu'à 0 mm. 06.

Les procédés *d'élutriation* (éluérer-laver) utilisent la dispersion du sédiment dans un liquide. Ce sont la lévigation et la sédimentation.

Lévigation [1]. — Le principe des analyses par lévigation consiste à entraîner les fractions les plus légères (levis-léger) d'un sédiment par un courant liquide dirigé de bas en haut. L'appareil le plus ancien est celui de Wolf, 1864 ; appareil très imparfait comme celui de Diétrich qui suivit en 1866. Celui de Schöne, datant de 1867 et encore utilisé actuellement, fut le premier à donner des résultats précis. Ces instruments furent tous créés pour effectuer des analyses pédologiques pour l'étude des sols cultivables. Parmi la quinzaine d'appareils existants nous choisissons comme type, l'appareil de Kopecky, assez ancien : 1901 ; mais toujours très employé avec quelques modifications (fig. 10).

Un réservoir d'eau à niveau constant alimente l'appareil avec un débit régulier et connu. L'eau traverse successivement, et de bas en haut, une série de récipients de diamètres croissants. Ces différences de diamètres entraînent des différences de vitesse dans le courant qui parcourt l'appareil, car la vitesse est plus grande dans les portions étroites. Le sédiment est placé dans le tube le moins large et après purge de l'air, l'appareil est mis en route.

Au bout d'un certain temps, ne restent dans ce premier cylindre de verre que les grains dont la vitesse de chute en eau calme serait supérieure ou égale à la vitesse du courant d'eau réalisé dans cette première portion.

1. Gesner, *Analyse Mec.*, Paris, Dunod, 1937.
A. Rivière, *Bull. Soc. Géol.*, 1944.

Les particules plus légères sont rapidement entraînées jusqu'au deuxième récipient de l'appareil. A cet endroit, la vitesse décroît encore et un certain nombre de grains sont trop lourds pour être entraînés plus loin et restent suspendus dans le courant d'eau. Ce sont ceux dont la vitesse de chute en eau calme égale celle du courant réalisée dans ce deuxième récipient de l'appareil et ainsi de suite dans les autres récipients où la vitesse décroît sans cesse.

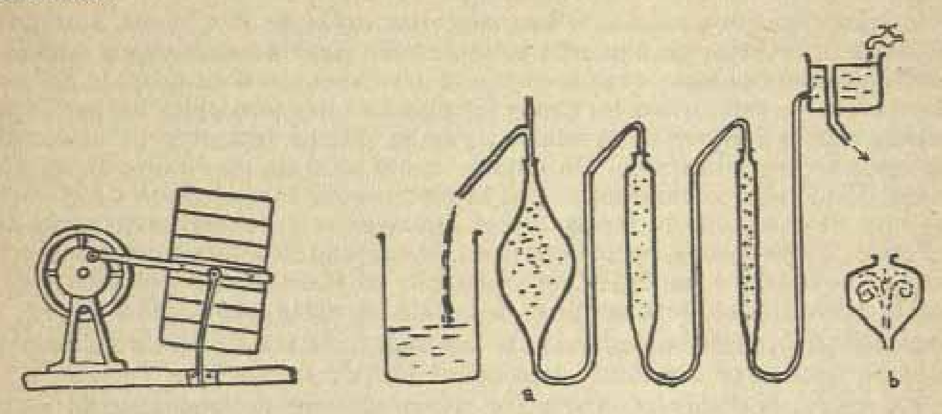


Fig. 9. — *Machine à tamiser Andréasen.*
Fig. 10. — *Appareil de Kopecky muni de l'ampoule de Krauss en* a. *En* b, *grand cylindre de Kopecky primitif avec tourbillon.*

Après un temps plus ou moins long, plus rien n'est entraîné par le courant et l'eau ressort claire ; on arrête alors l'opération, les grains tombent au fond de leurs récipients respectifs, on les recueille, on les sèche à l'étuve jusqu'à poids constant et on les pèse.

On conçoit que la régularité du débit d'eau, donc celle des vitesses, est indispensable. Il est indispensable aussi que le débit soit exactement connu ainsi que les sections des différentes ampoules ; ces sections doivent être calculées de façon que les fractions séparées soient régulièrement réparties. On utilise généralement les intervalles suivants : 0,2 — 01 — 0,05 — 0,02.

Il faut, pour calculer les sections des divers récipients de l'appareil, connaître la vitesse de chute des grains en eau calme ; celle-ci est donnée par la formule de Stockes, formule de grande valeur, dont les applications sont multiples en physique colloïdale et chimie-physique :

$$\text{Vitesse de chute constante d'un grain sphérique} = \frac{2\,r^2}{9} \; \frac{(D1 - D2)\,g}{\eta}$$

r = rayon du grain,
η = viscosité du liquide variant selon la température,
D1 = densité du grain,
D2 = densité du liquide,
g = constante de gravitation = 981.

Cette formule a une limite de validité : au-dessus d'un rayon de 0,005 cm. pour les particules analysées, elle ne peut s'appliquer sans erreur importante et l'on doit employer la formule d'Oseen [1].

Pour éviter ces calculs lorsque l'on veut construire ou régler un appareil à lévigation, comme du reste les appareils à sédimentation que nous envisagerons plus loin, on peut se servir d'une abaque telle que celle dont on trouvera une reproduction très réduite à la fig. 11. Les grosseurs de grains sont indiquées en fonction des vitesses de chute de particules de quartz (densité : 2,65) pour les températures les plus habituelles et pour l'eau [2].

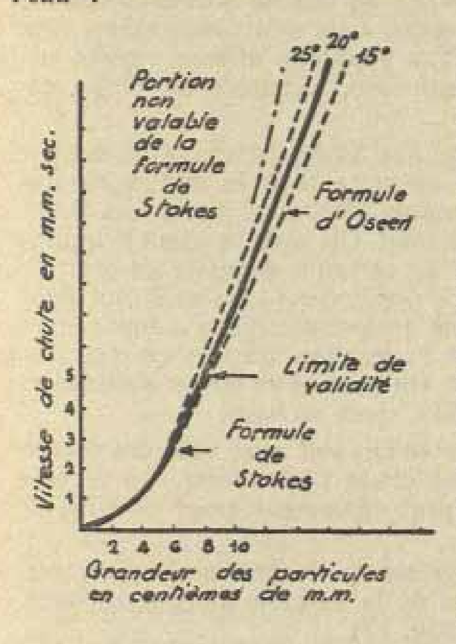


Fig. 11. — *Abaque pour appareil à légivation.*

La vitesse de chute en eau calme étant connue pour les tailles de grains qu'on a décidé de séparer, il est facile de choisir des récipients de sections appropriées et un débit d'eau bien calculé pour avoir une séparation très précise des diverses fractions du limon analysé.

L'appareil de Paderewsky (1926) est un Kopecky, dont les récipients sont superposés au lieu d'être juxtaposés. La purge d'air s'effectue ainsi sans difficulté; muni de robinets à trois voies cet appareil permet un isolement des fractions et un rinçage des éléments très facile.

L'appareil de Schône, cité plus haut, n'a qu'un cylindre et c'est le débit d'eau que l'on fait varier pour obtenir des vitesses différentes.

Il importe que les cylindres à lévigation aient des extrémités effilées supprimant les tourbillons de liquide, qui sont d'autant plus difficiles à éviter que la section est plus grande ; c'est pourquoi la large bouteille cylindrique de l'ancien appareil de Kopecky (fig. 10 *b*) a été remplacée par l'ampoule de Krauss ((fig. 10*a*). Des microphotographies de l'appareil en marche permettent de vérifier

1. Vitesse de chute
$$\frac{-\frac{3\eta}{r} + \sqrt{\frac{9\eta^2}{r} - + 3D\,2\,(D1 - D2)\,g\,r}}{\frac{9}{4}\,D2}$$

2. L'eau est le liquide couramment employé, mais on conçoit que la granulométrie des ciments industriels ne peut s'effectuer dans l'eau. On emploie l'alcool éthylique.

qu'avec cette forme d'ampoules effilées, les tourbillons perturbateurs ne se produisent pas.

Sédimentation[1]. Le procédé de lévigation ne peut s'appliquer facilement aux particules très fines, l'opération serait trop longue et de plus nous avons vu que dans les récipients très larges on ne peut guère éviter les tourbillons. On utilise pratiquement au dessous de 10 ou 20 μ la sédimentation. Le principe employé est celui de la différence des vitesses de chute des grains du sédiment fin à analyser mis en suspension dans un liquide, de l'eau distillée généralement (note 59 de la page précédente).

Ces vitesses de chute sont déterminées par les lois de Stokes au dessous de 0,08 mm. et par celles d'Oseen au dessus. Lois dont nous avons déjà dit un mot ; nous n'y reviendrons pas. Les appareils utilisés varient depuis le simple cylindre à décantation jusqu'aux appareils les plus complexes.

Le *cylindre de Wagner* (1912), n'est qu'une simple éprouvette remplie d'eau distillée. On y verse le sédiment, on agite pour le mettre en suspension et on laisse reposer. Après un temps déterminé toutes les particules d'une taille donnée sont tombées au fond. On siphone alors le liquide contenant les parties non sédimentées. Une certaine quantité de ces parties fines reste cependant englobée dans le dépôt des « gros » ; il faut donc pour l'éliminer ajouter de l'eau distillée jusqu'au niveau adopté pour la première décantation et recommencer l'opération jusqu'à ce que pratiquement tous les « fins » soient éliminés. On peut alors laisser sédimenter l'eau de lavage, évaporer et peser le résidu après séchage.

Puis on recommence l'opération mais cette fois soit avec une plus grande hauteur de chute, soit avec un temps de chute moins long. On élimine ainsi une fraction plus grosse que l'on peut également peser et ainsi de suite.

Les temps de chute appropriés aux grosseurs de grains désirées sont calculés comme en lévigation au moyen de la formule de Stokes-Oseen. Cette méthode est simple mais longue (fig. 12).

Dans les autres méthodes on ne sépare pas effectivement les fractions.

La méthode par *densimétrie* consiste à enregistrer régulièrement les indications d'un densimètre plongé dans l'eau contenant en suspension le mélange à analyser ; la densité décroît avec la sédimentation[2].

Dans la méthode de *Robinson*, dite à la *pipette*, on aspire dans une pipette à profondeur déterminée, à temps déterminé, un volume déterminé d'une suspension du produit à analyser en voie de sédimentation dans un liquide. On dose dans le liquide prélevé la quantité de particules ; on recommence l'opération à des profondeurs ou à des temps différents bien

1. Gesnner, *Analyse mécanique*, Paris, Dunod, 1937. — A. Rivière, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1944.

2. Brajnikov, Francis-Bœuf, Romanovsky, 1943.

déterminés. Cette méthode convient bien pour explorer rapidement les différentes phases d'un sédiment.

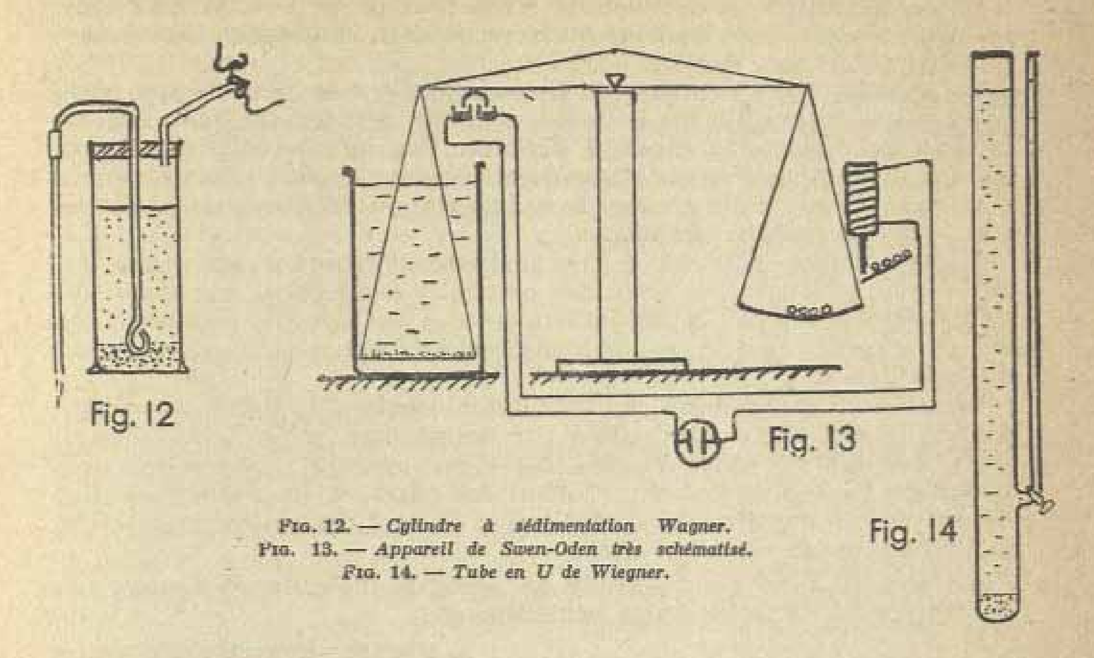


FIG. 12. — *Cylindre à sédimentation Wagner.*
FIG. 13. — *Appareil de Swen-Oden très schématisé.*
FIG. 14. — *Tube en U de Wiegner.*

C'est de cette méthode pipette que s'est servi M. Koby pour établir les analogies granulométriques entre les argiles de fond des trois grottes préhistoriques de Saint Brais, Schnurenloch et Gondevans [1].

Contrairement aux précédentes les deux méthodes perfectionnées que nous allons exposer permettent l'étude continue et totale de la courbe de sédimentation d'une poudre en suspension.

Dans l'appareil de Swen-Oden la sédimentation s'effectue sur un plateau immergé d'une balance très sensible. Dès que l'équilibre est rompu un contact électrique s'établit ; il actionne un électro-aimant qui libère un très petit poids qui rétablit l'équilibre jusqu'à ce qu'il soit à nouveau détruit et ainsi de suite. Un chronomètre enregistre le moment des chutes de poids. La courbe est tracée automatiquement (fig. 13).

L'appareil de Wiegner est basé sur le phénomènes suivant : les hauteurs de liquides différents remplissant des tubes communiquants sont

1. F. KOBY, *Arch. Suisses d'Anthr. générales*, 1946, p. 22.

inversement proportionnels à leur densité. La suspension est mise dans le tube large et répartie également. On ouvre le robinet H, la suspension possède une densité plus élevée que l'eau pure du petit tube, d'où différence de niveau entre les deux surfaces liquides, différence inversement proportionnelle aux densités (fig. 14).

La différence des densités est proportionnelle à la quantité des particules qui se trouvent dans le liquide ; au fur et à mesure que s'effectue la sédimentation cette quantité diminue. Par un procédé très élégant adjoint par Gesnner les variations de niveau dans le petit tube sont agrandies optiquement et la courbe de sédimentation est enregistrée directement sur film cinématographique.

Dispersion des sédiments : Les analyses mécaniques par élutriation nécessitent la séparation nette des particules à analyser, leur dispersion totale dans le liquide, la dislocation de tous les agrégats maintenus par des phénomènes électriques ; cette défloculation est très difficile à réaliser complètement.

On se sert couramment de l'ébullition suivie d'agitation mécanique prolongée puis d'une stabilisation par des alcalins faibles tels que le citrate, l'oxalate de soude, l'ammoniaque deci-normale ; les résultats sont imparfaits [1]. Les céramistes étudiant les pâtes et les barbotines s'occupent de ces questions et contrôlent le P. H. [2] des suspensions ; P.H. qu'ils font varier empiriquement.

On se sert aussi pour détruire les agrégats d'électro dyaliseurs. Ces procédés sont en pleine étude actuellement [3].

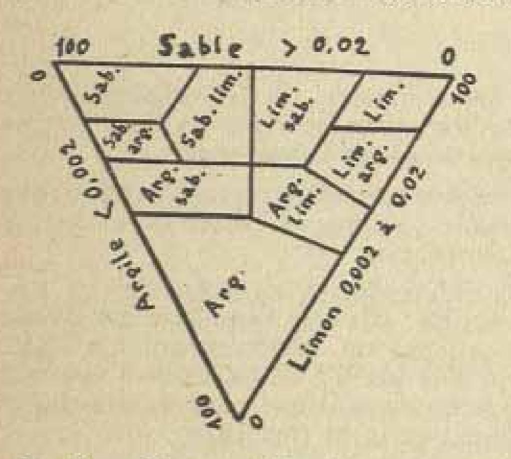


FIG. 16. — *Diagramme triangulaire conventionnel.*

L'analyse granulométrique, même en dehors de toute considération interprétative de la forme des courbes, peut déjà servir utilement le géologue archéologue.

Elle permet de donner des appellations correctes aux sédiments, fins seulement, en utilisant un diagramme triangulaire conventionnel, tel celui figuré ci-contre avec échelle internationale (fig. 16).

La place du sédiment sur la surface du diagramme est déterminée par les quantités respectives des trois principaux constituants : limon, argile, sable. Selon la proportion de ceux-ci cette place

1. DEMOLON, *La dynamique du sol*, Paris, Dunod, 1944.

2. Le P H mesure le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une solution. C'est le logarithme de l'inverse de la concentration en ions hydrogènes.

3. A. RIVIÈRE, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1944.

se situera dans telle ou telle case du triangle à laquelle est attribuée une dénomination conventionnelle.

Mieux encore qu'une appellation écrite, fut-elle conforme à ces normes triangulaires, l'allure même de sa courbe définira le sédiment ; grâce à elle les analogies entre deux couches distantes mais traitées de la même façon granulométriquement, pourront être relevées. On conçoit l'utilité de ces comparaisons lorsqu'il s'agira par exemple de rattacher les uns aux autres divers lambeaux alluviaux d'une terrasse fluviatile supposée autrefois continue. Dans une grotte où le dépôt archéologique aura été coupé en deux par une fouille sans compte rendu (le cas n'est que trop fréquent) des comparaisons granulométriques effectuées de part et d'autre de la tranchée pourront permettre des raccords de couches en dépit d'aspects et de couleurs différentes.

En dehors des identités totales de diagrammes granulométriques, on peut entre deux sédiments trouver des analogies partielles. Deux courbes peuvent n'être que partiellement emboitées ce qui peut révéler des mélanges. C'est ainsi que la courbe n° 6, (fig. 18) peut se ramener à la superposition d'une courbe de type 5 à une courbe de type 7. Le diagramme 5 correspondant à un sable désertique typique et le n° 7 à un sable littoral, il en résulte que 6 peut être un sable désertique remaniant des sables littoraux, ce qui sera confirmé par d'autres caractères.

La forme des courbes, on le voit déjà par l'exemple précédent, peut-être caractéristique du mode de dépôt. Elle reflétera « les propriétés dynamiques des milieux dans lesquels c'est produite l'accumulation des sédiments ». RIVIÈRE.

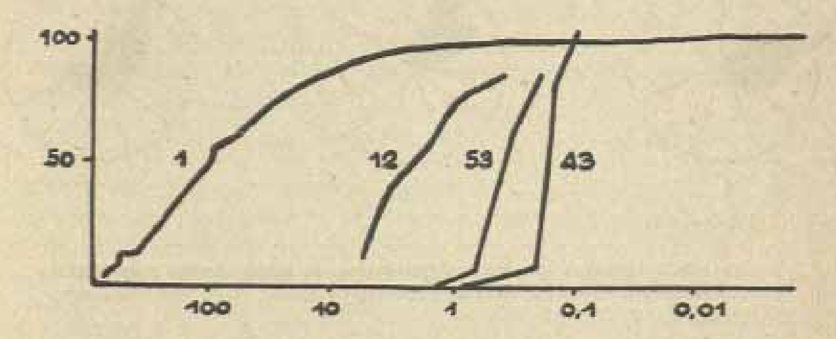


FIG. 17. — *Quatre courbes typiques caractérisant par leurs pentes la plus ou moins grande homométrie des sédiments. Courbes sélectionnées parmi les plus caractéristiques publiées par* A. CAILLEUX. (Sess. Extr. Soc. belges de Géol., 1946).

1 : *Moraine quaternaire, Suède.*
12 : *Alluvions quaternaires de la Somme.*
53 : *Dunes du Souf (Sahara).*
43 : *Sable dragué en mer du Nord.*

Un simple coup d'œil sur la pente des courbes cumulatives permet déjà d'apprécier l'hétérométrie, c'est-à-dire la variété plus ou moins

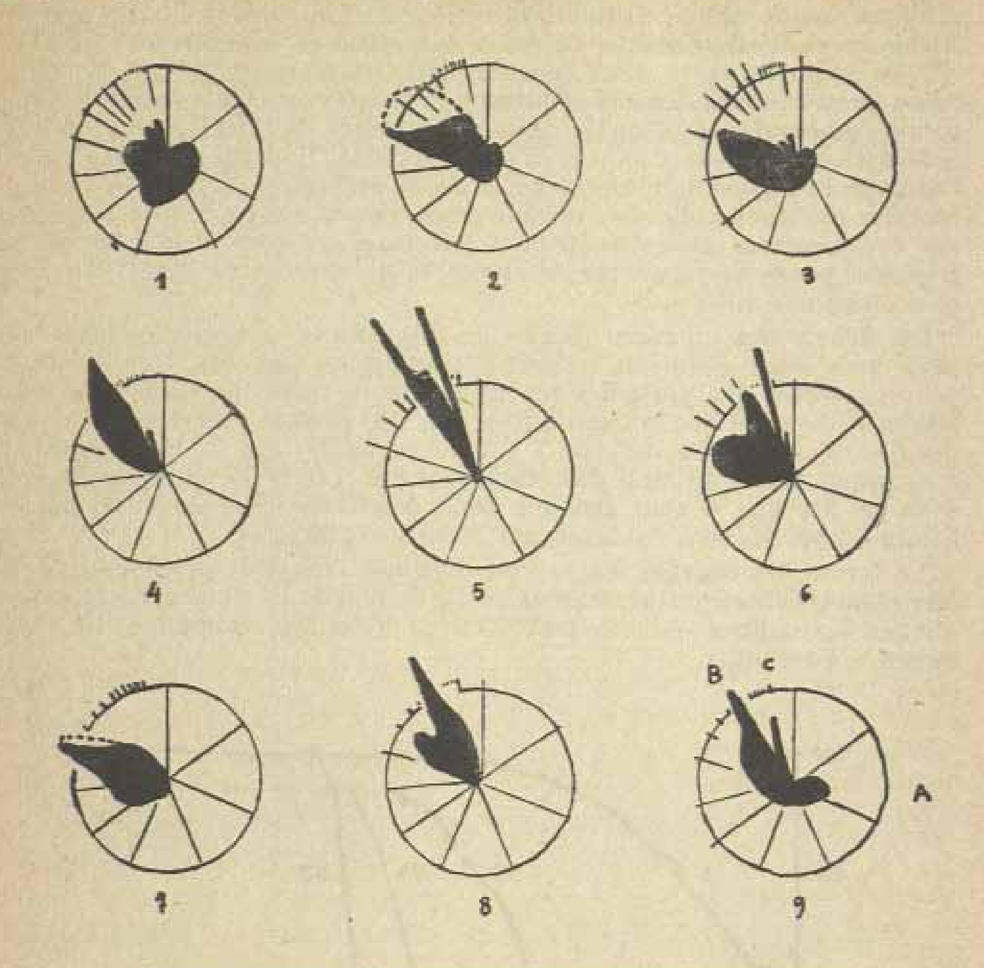


FIG. 18. — *Quelques courbes granulométriques de sables choisies parmi celles dont M.* RIVIÈRE *a pu connaître le mode de formation.* (Ann. Inst. Océanogr., 1937).

1 : *Coulées boueuses ? Sologne. Grains de toutes tailles.* — 2 : *Sable du Rhône à Lyon. Début de l'action sélective du courant.* — 3 : *sable de cours moyen. Chute rapide des éléments fins (Loire).* — 4 : *Forme en croissant, caractéristique des sables fluviatiles évolués (Seine, à Paris).* — 5 : *Sable désertique du Grand Erg occidental.* — 6 : *Sable désertique remaniant des sables littoraux (Haute-Egypte).* — 7 : *Sable d'ablation littorale (Le Pouliguen).* — 8 : *Sable littoral à deux maxima (Noirmoutiers).* — 9 : *Sable complexe du Pouliguen :* A) *éléments grossiers arrachés à la côte ;* B) *masse apportée par les courants « forme croissant » ;* C) *très fins déposés à l'étale.*

grande des tailles de grains du sédiment. Un sédiment strictement homométrique serait représenté par une droite verticale puisque sa totalité 100 % serait constituée de grains d'une même taille. Comme le montre la fig. 17 partiellement empruntée à Cailleux, la pente, donc l'hétérométrie, est déjà un indice qui oriente vers un diagnostic : les alluvions éoliennes et marines sont les plus triées, les alluvions glaciaires, telles les moraines, sont les plus hétérométriques, leurs courbes ont une pente faible. Les courbes à long palier, fig. 7, caractérisent les sédiments marins formés de galets de tailles très voisines emballés dans un sable également très bien calibré.

M. Rivière a établi un premier classement des courbes et sélectionné les types les plus caractéristiques ; nous en reproduisons quelques unes à titre d'exemples.

Nous avons déjà vu que les sables éoliens (fig. 18, nº 5) très fortement triés, occupent en totalité un secteur très étroit : nº 5, sables désertiques du Grand Erg occidental. Un sable de coulées boueuses occupe tous les secteurs du graphique, il a donc des grains de toutes tailles, est très hétérométrique (fig. 18, nº 1). En 2, nous avons en pointillé la courbe d'un sable en haute vallée et en noir le début de l'action sélective du courant qui a entraîné les particules. En 3, c'est un sable de vallée moyenne, les grains fins étant enlevés la courbe est moins hétérométrique. A un degré d'évolution plus avancée (Seine à Paris, fig. 18 nº 4), le secteur occupé s'est encore réduit la courbe est en profil d'aile.

Le nº 7 est une arène de gneiss lavée sur une plage. Les sables marins à deux maxima, tel 8, seraient fréquents et semblent tenir à des mélanges. Le sable complexe du nº 9, a été interprété de la façon suivante : A représente une portion grossière arrachée aux rochers locaux. B, par sa forme en croissant correspond à un apport par courant rapide, la mer agissant alors comme un cours d'eau. C, représente les éléments très fins déposés à l'étale de la marée.

On voit donc que la granulométrie peut déjà nous permettre l'interprétation d'un bon nombre de sédiments aquatiques ou éoliens. Pour peu que le nombre des courbes établies pour un même sédiment en des portions éloignées soit suffisant [1] et que l'étude morphoscopique vienne confirmer les diagnoses, on arrivera à la certitude.

Pourtant l'étude morphoscopique et l'étude granulométrique d'un sédiment peuvent aboutir apparamment à des conclusions discordantes. Ceci est explicable et même plein d'intérêt. On conçoit qu'un sable éolien précipité dans la mer ou la rivière par suite d'une transgression ou simplement d'un éboulement de falaise ne va pas perdre instantanément ses caractéristiques pour devenir sable à émoussés luisants, même s'il tombe en courant rapide ; par contre il sera très vite classé mécaniquement et sa courbe granulométrique pourra déjà refléter l'action de l'eau alors

1. L. Glangeaud, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1938, p. 599.

que sa morphoscopie sera encore celle d'un sable éolien ; on pourra en déduire sa double origine.

Si nous abordons maintenant l'étude granulométrique des sédiments des grottes, aux renseignements d'ordre géographique et hydrologique vont s'ajouter de non moins intéressantes indications climatiques.

On peut trouver dans les grottes des sédiments fluviatiles venus de l'extérieur et échoués sous les porches. Parfois pour les grottes ayant servi de résurgence on trouvera des dépôts venant de l'intérieur, approvisionnés en matériaux par les fissures du rocher et les écroulements de voûtes ; ce seront des pierrailles percutées, souvent peu émoussées ou au contraire d'un poli parfait quand une de ces marmites si fréquentes dans les cours d'eau souterrains viendra à s'égeuler suffisamment pour laisser échapper ses galets sphériques.

Les dépôts argileux des grottes sont le résidu de l'attaque sur place des calcaires. Cette attaque est le fait des eaux d'infiltration chargées d'acide carbonique ou d'acides organiques ; le fait aussi de l'eau de condensation.

On conçoit qu'en période de gel intense cette action chimique de l'eau cesse quasi complètement ; l'argile cesse d'être libérée, les stalactites, les croûtes stalagmitiques, les tufs pâteux (montmilch, blanc de poule, lait de lune) cessent d'être nourris par les apports calcaires de l'eau de ruissellement [1]. Par contre les parois et les voûtes des porches d'entrée sont soumis à l'action intense des changements de température que ne tempère plus un air devenu sec. Gels et dégels fragmentent la roche qui s'écaille et tombe ; les produits de cette desquamation s'accumulent. Aucune circulation d'eau ni aucune action chimique ne viennent polir ou corroder la surface des plus gros éléments, dissoudre les plus petits. Le mérite d'avoir montré que ces actions du froid contrebalançant les actions chimiques se marquent souvent nettement dans la granulométrie des sédiments des cavernes, revient à l'allemand LAIS [2]. Il attribue à la fracturation mécanique glaciaire les grains de plus de 5 mm., à l'altération chimique ceux de moins de 2 mm,. Actuellement KOBY tend à abaisser ces limites.

C'est à la grotte dite Karsteinhöhle, dans l'Eifel, que feu LAÏS a obtenu les graphiques granulométriques les plus démonstratifs (fig. 19) au point de vue climatique. En cet endroit deux maxima d'actions mécaniques correspondent très vraisemblablement à deux poussées glaciaires würmienne ; la seconde, Würm II, étant moins prononçée que la première

1. L'affirmation de LAÏS disant qu'à distance de l'entrée les stalagmites ne peuvent se former que par climat semi-aride, laissera sceptiques les spéléologues qui connaissent des stalagmites en pleine formation dans les salles lointaines à atmosphère saturée. Ils ne le suivront probablement pas non plus quand il affirme que les couleurs brunes, jaunes, rouges des argiles des parties profondes témoignent de leur origine extérieure.

2. R. LAÏS, « Uber Höhlensedimente », *Quartär*, tome III, 1946, p. 56. Voir une longue étude de cet article par R. VAUFREY, *L'Anthropologie*, tome LIII, 1949, pp. 159-167.

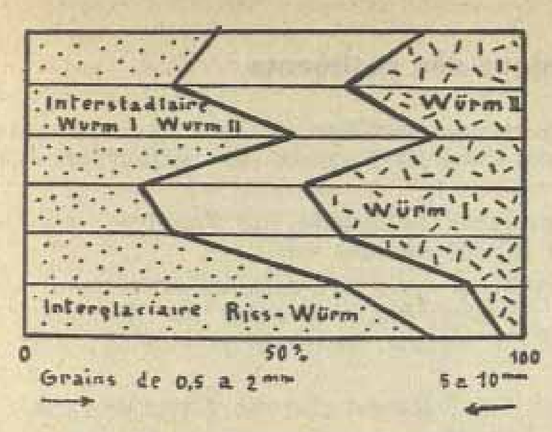


Fig. 19. — *Graphique granulométrique d'après Laïs.*

ce qui est confirmé par ailleurs. M. Laïs a étudié les sédiments de la grotte Suisse de Saint Brais, fouillée par Koby [1]. Ce dernier a montré que la couche de fond remanie des sables tertiaires comme le prouve la recherche des minéraux lourds. Laïs montre que ce limon n'est pas glaciaire ; il contient beaucoup d'éléments fins, lehm, altération chimique des parois calcaires de la grotte, et des éléments calcaires, volumineux, complètement lessivés par ruissellement.

Au dessus une terre à ours contient en abondance dans sa portion inférieure des éléments grossiers (5 à 10 mm.) de calcaire rauracien non altérés et un limon peu abondant : formation due à une température basse avec très petites infiltrations d'eau.

Si la granulométrie justifie l'attribution des dépôts grossiers anguleux à des périodes froides, préciser qu'il s'agit de telle ou telle période glaciaire apparaît encore bien hasardeux.

Koby attribuant les trois couches caillouteuses comprises dans l'argile à ours de Saint Brais aux trois stades glaciaires wurmiens, est contredit par Laïs qui voit là uniquement le troisième stade wurmien.

Quoiqu'il en soit les éléments de 5 à 10 mm., diminuent progressivement vers la surface de l'argile à ours à laquelle succèdent des dépôts de tufs calcaires pulvérulents, de stalagmites, de blocs corrodés témoignant de précipitations abondantes et d'un réchauffement du climat. Elles correspondent à des foyers néolithiques et de l'âge du bronze. Une de ces couches a été proposée pour représenter l'optimum climatique post glaciaire car sa stalagmite plus meuble, plus concentrée en carbonates témoignerait d'un climat plus chaud.

Laïs retrouvant ainsi les grandes variations climatiques générales de la préhistoire, montre cependant que les considérations locales ne sont pas à négliger dans ces études. L'altitude, la forme des grottes, leurs rapports plus ou moins proches avec la surface, l'exposition de leurs entrées sont générateurs de micro climats locaux à interpréter finement.

1. F. Koby, *Verhandlungen der Naturforschenden Gesell. in Basel*, vol. XLI, p. 138.

Étude chimique des sédiments.

L'étude chimique des sédiments ne constitue en rien une spécialité isolée ; elle est partie intégrante dans les travaux des pétrographes et surtout des pédologues.

Ses techniques sont les techniques habituelles de l'analyse quantitative. Les dosages s'effectuent le plus souvent soit :

— par différence de poids avant et après une attaque provoquant un dégagement gazeux. Exemple : dosage des carbonates par dégagement de gaz carbonique parfois dosé en volume. Méthode de Passon, Koby, à Cotencher

— soit par pesée d'un précipite de l'élément cherché. Exemple : dosage des sulfates à l'état sulfate de baryum.

— soit par liqueur titrée avec réaction colorée. Exemple : dosage du fer par le permanganate de potasse.

— soit par réaction calorimétrique par comparaison avec des solutions étalon. Exemple : méthode de Deniges pour le dosage des phosphates.

Comme il n'est pas toujours besoin d'avoir une grande précision en archéologie, les récentes méthodes américaines de Morgan, employées en agronomie seront pratiques. Elles utilisent pour le dosage des comparaisons de couleurs à l'œil nu entre le sédiment traité par le réactif et des taches colorées préparées extemporanement sur une palette avec ce même réactif et des quantités croissantes dosées de l'élément recherché.

Dans les pays où l'étude des sols est poussée si loin qu'il n'existe pas un hectare de terrain qui n'ait été examiné par un spécialiste, la Hollande par exemple, des travaux à but essentiellement agronomique ont réalisé une prospection archéologique féconde. Le dosage de *l'acide phosphorique* du sol a révélé des centres habités préhistoriques et proto-historiques.

En effet, les substances organiques animales, qu'il s'agisse des os des déchets de cuisine ou de l'urine imbibant le fumier, d'étables ou d'enclos, pour peu qu'il y ait un habitat un peu prolongé enrichissent vite le sol, en phosphates. Cette méthode a été employée aux Pays Bas par Edelman [1] et en Suède par Arrhenius et Sten Florin pour la station préhistorique de Stora Malm [2], en Suisse par Bandi, dans la vallée de la Sarine [3], dans les couches à ours des grottes Suisses, on a trouvé des teneurs de 6 %, à Saint Brais, 12 % à Cotencher, 23 % à Mixnitz. Koby [4].

1. A. Cailleux, *Bull. de la Soc. Préh. Fr.*, 1946, p. 183.
2. Loyis, *Bull. de la Soc. Préh. Fr.*, 1945, p. 213.
3. *L'Anthropologie*, 1949, p. 175.
4. F. Koby, *Archives Suisses d'Anthropologie générale*, 1946, p. 146.

Une cause d'erreurs peut être due aux fumures intensives et aux engrais chimiques phosphatés.

A une échelle plus réduite de la prospection chimique, des emplacements de cadavres peuvent être décelés. Dans certaines circonstances, en particulier dans les terrains fortement imbibés d'eau, les albuminoïdes des chairs sont décomposées et remplacées par des matières grasses que l'ammoniaque des fermentations transforme en savon ammoniacal appelé *adipocire*. Par la suite il peut y avoir formation de savon calcaire insoluble persistant indéfiniment et permettant la recherche des *acides gras* qui les ont formés. Dans une tombe où le squelette n'aurait pas été conservé, cas le plus fréquent dans les terres acides, la recherche des acides gras peut non seulement déterminer l'emplacement d'un ou plusieurs cadavres, mais encore si les prélèvements ont été assez serrés on peut voir sur le canevas où sont répartis les chiffres des dosages, se dessiner la silhouette virtuelle du cadavre humain ou animal car certains hommes proto-historiques sont enterrés avec leurs chars, chevaux et chiens.

L'humus constitue une fraction des matières organiques du sol : fraction colloïdale de Ph acide : 2 à 2,4, soluble dans les alcalins, malheureusement très mal connu chimiquement. Si l'on a pu isoler certains constituants, schérizérite, dopplérite, on n'est pas encore capable de distinguer les humus d'origine animale des humus végétaux. Aussi est-ce avec raison que Koby reproche à Laïs d'attribuer à certaines couches azotées, brunes, des grottes Suisses, un climat interglaciaire chaud, en pensant que ce sont des débris végétaux.

L'étude des vases actuelles, dans des buts pratiques de désobstruction de ports ou d'estuaires, ou au contraire la constitution de polders, apporte aussi sa contribution à l'étude des sédimentations actuelles. Francis Bœuf a montré que dans les vases le rapport de l'azote à la matière organique totale pouvait fournir d'utiles renseignements sur la nature même de ces matières organiques constituantes ; algues par exemple [1].

L'étude chimique des argiles offre la possibilité d'entrevoir leur passé. Les argiles sont des silicates hydratés complexes qui peuvent être divisées en deux groupes principaux : celui des silicates hydratés d'alumine avec rapport $\frac{Si\ O_2}{Al_2\ O_3} = 2$ type *kaolinite* et celui des silicates hydratés d'alumine et de magnésie : type *montmorillonite* avec son annexe les silicates hydratés d'alumine et d'oxyde ferrique, type *nontronite*, chez lesquels le rapport $\frac{Si\ O_2}{Al_2\ O_3}$ est compris entre 3 et 5.

Au point de vue de leur formation ces deux groupes auraient des origines différentes. Initialement le groupe montmorillonite prendrait naissance par altération de matériaux volcaniques au contact des eaux salées

1. C. Francis Bœuf, *C. R. s. Soc. Géol.*, 1941, p. 109.

marines, tandis que le groupe kaolinite serait produit en eaux douces, donc serait continental [1]. Cependant, outre les mélanges, les argiles peuvent ensuite évoluer sur place sous l'influence des conditions climatiques : « le rapport $\frac{Si\ O_2}{Al_2\ O_3}$ est lié à la quantité d'eau de percolation qui est elle-même fonction à la fois de la chute des pluies et de la température. Il existe donc une grande variété d'argiles, mélanges de silicates hydratés, dont quelques uns présentent initialement, ou secondairement une structure cristalline qui a permis de les analyser par rayons X. On obtient pour les variétés pures des radiogrammes caractéristiques permettant l'interprétation d'argiles complexes (fig. 21).

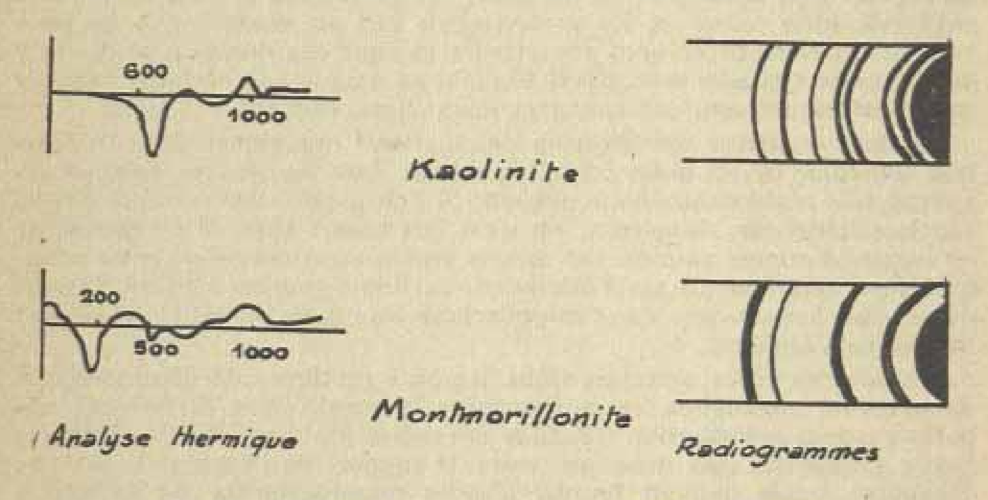


FIG. 20. — *Courbe des analyses thermiques des argiles.*

FIG. 21. — *Radiogrammes d'argiles complexes.*

On applique également aux argiles l'analyse thermique, les variétés pures donnant des courbes caractéristiques traduisant les phénomènes endo et exo thermiques dus aux transformations de l'argile lorsqu'elle est chauffée rapidement à 1.000° (fig. 20).

On entrevoit donc les possibilités offertes par l'étude des argiles céramiques dans des buts industriels, ménagers ou même artistiques. Il peut en résulter pour le géologue du quaternaire des indications précieuses sur leurs conditions de dépôts, marins, saumâtres, fluviatiles, lacustres, sur leur évolution sous l'influence des pluies et des températures, indications qui auront leur rôle à jouer dans les reconstitutions paléoclimatiques quaternaires.

1. DEMOLON, *La dynamique du sol*, Paris, Dunod, 1944.

L'étude de l'orientation des phyllites dans les argiles pourra peut être nous révéler celles qui ont été piétinées. Elle permettrait aussi de distinguer les enfoncements d'objets dans l'argile des simples englobements par sédimentation [1].

La pédologie qui est la science des sols, outre les moyens physiques tels que la granulométrie, utilise largement les techniques chimiques. Les sols en effet sont le résultat de l'altération superficielle des roches mères, sous les influences physiques, chimiques et biologiques ; le résultat des actions biologiques est en définitive une modification chimique.

Les divers degrés de cette évolution des sols, lente et variable, peuvent être appréciés souvent par l'analyse chimique qui précisera les rapports quantitatifs entre les divers constituants.

B. Brajnikov a montré par exemple l'intérêt du rapport de la quantité des matières organiques dosées en carbone à la quantité de fer. Dans les sols anciens ce rapport varie de 0,01 à 0,09, tandis que dans les sols actuels il va de 0,1 à 0,5 [2].

Les divers types de sols apparaissent essentiellement liés au climat : d'où la loi de zonalité c'est-à-dire la répartition des sols de même nature en bandes correspondant aux zones climatiques. Cette loi se vérifie surtout sur de vastes espaces très peu accidentés et dont la composition du sous-sol est peu variable, telle la Russie patrie de la pédologie. Elle est moins caractérisée en France par suite de la multitude des climats locaux liés à la variété du relief et aussi par suite d'érosions mettant à jour quantités d'anciens sols correspondant à des climats disparus.

Les conditions de formation des sols actuels étant connues le paléopédologue pourra conclure à l'existence de conditions semblables lors de la formation des sols anciens.

C'est ainsi que, sous climat tempéré humide, sous le couvert de cônifères et bruyères fournissant un humus acide, les sols tendent à devenir des *podzols* : sols caractérisés par le lessivage et la décoloration de leurs surfaces, recouvrant en profondeur une zone d'accumulation d'éléments venus des portions superficielles, humus, argiles, oxyde de fer et de manganèse, constituant parfois ces croutes rousses appelées *alios*.

Les sols bruns se forment avec un climat tempéré humide mais sous couvert d'arbres à feuilles caduques. Ils sont stables sans niveau d'accumulation. « L'existence de tels caractères permet actuellement de restaurer par la pensée, en certaines régions, telle la Brie, les anciennes forêts aujourd'hui disparues ». Démolon [3]. il en est de même en Bretagne.

1. Nous ne citons que pour mémoire les recherches chimiques sur les dépôts calcaires, tufs, stalagmites des grottes, pratiquées par MM. Koby et Laïs ; les conclusions climatiques qui en ont été tirées apparaissent comme discordantes et discutables. L'étude des dépôts calcaires, au moins en ce qui concerne les grottes, n'est donc pas du tout au point actuellement.

2. B. Brajnikov, *C. R. s. Soc. Géol.*, 1942, p. 44.

3. Demolon, *La dynamique du sol*, Paris, Dunod, 1944.

L'influence de l'homme sur la végétation se marque aussi sur le terrain : M. Marcelin qui « a découvert au col de l'Homme Mort une station préhistorique, a remarqué que cette station néolithique était située sous le sol d'humus alpin de 30 cm., d'épaisseur et non à sa surface. C'est là une remarque de toute première importance au point de vue pédologique, car elle montre que le sol est postérieur à l'occupation humaine, qu'il est son œuvre et le résultat de la destruction par le feu, due aux pasteurs de l'Homme Mort, de la forêt Cévenole pour accroître à ses dépens les paturages. »

Les sols noirs, type *Tchernozems* russes, *Tirs* marocains, *Régurs* indous, à humus saturé de calcium et magnésium sont des sols semi arides de climat continental à couverture de graminées vivaces. Ils sont fréquents sur les loess, quand un climat plus humide n'est pas venu par la suite les transformer en *lehm* par décalcification.

Les sols désertiques sont caractérisés par l'accumulation d'éléments pourtant solubles : les carbonates, le gypse, les chlorures.

Nous connaissons déjà là les sols latéritiques (n. 3 p. 38) l'analyse chimique montrant l'absence d'humus, l'enrichissement en alumine, fer, et titane peut éviter la confusion de ces sols tropicaux à pluies abondantes mais à saison sèche avec les argiles rouges équatoriales.

Certains pédologues se sont attachés à l'étude des sols fossiles et à la reconstitution des variations climatiques et historiques : tel est J. Franc de Ferrière [1] qui a appliqué minutieusement les techniques pédologiques aux sols anciens de la plaine d'Alsace dont la géologie et les faunes quaternaires ont été étudiées par P. et L. Wernert [2]. Effectuant pour chaque gisement et chaque couche l'analyse chimique et granulométrique, l'étude des altérations et de l'évolution des sols il a abouti au tableau suivant synchronisant les sols alsaciens aux divers climats de l'époque flandrienne dont M. Dubois a précisé les niveaux et les flores successives [3].

Nous avons vu sa valeur chronologique à propos des varves.

Climat	*Age*	*Sols*	*Flore*
Actuel	—	non évolués	—
Sub atlantique	— 1000	bruns décalcifiés	recul du hêtre
sub boréal	— 2500	pseudo tchernozioms	hêtre et sapin.
Atlantique	— 4000	sols bruns lessivés	chêne, orme, tilleul.
Boréal................	— 6000	sols noirs enterrés	coudrier dominant
Sub arctique	— 10000	lehm brun	bouleau, pin
Arctique...............	— 14000	lœss récent supérieur	toundra

1. J. Franc de Ferrière, *Géologie et Pédologie*, Strasbourg, 1937.
2. P. Wernert, *Congr. Géol. Intern.* Madrid, 1926, p. 1975.
3. G. Dubois, *Livre jubilaire Soc. Géol. Fr.*, 1930.

Nous avons dans ce chapitre accumulé et parfois décrit brièvement les diverses techniques d'étude des sédiments capables de nous fournir quelques indications sur le sol, les eaux, le climat, des époques passées.

Bien que nous ayons tenté d'ordonner logiquement ces divers procédés, une impression de fatras peut résulter de leur nombre et pour chacun le résultat obtenu pourra paraître maigre. Malheureusement, en effet, aucune de ces techniques n'éclipse merveilleusement les autres en nous fournissant une vue d'ensemble. Il nous faut donc nous résigner à accumuler au prix d'un long labeur de multiples observations de détail.

Si la plupart des techniques dont nous avons parlé sont peu à peu mises au point, il s'en faut que les résultats obtenus soient suffisamment nombreux pour que, de leur étude et de leur classement, on ait déjà pu tirer des règles précises d'interprétation. Le chercheur est donc réduit, pour le moment du moins, à donner ses matériaux à analyser au spécialiste un peu systématiquement, pour voir ce que cela donnera.

Cette méthode devra rapidement changer car si consciencieux et bien outillés que puissent être des spécialistes travaillant en laboratoire, isolés les uns des autres, il leur faudra des directives précises, une orientation de leur effort qui ne peut leur être donnée que par l'archéologue. C'est celui-ci qui aura fait la fouille, c'est lui qui aura prélevé minutieusement les matériaux, c'est lui qui conduira ses collaborateurs spécialistes sur le terrain pour leur soumettre les problèmes à résoudre, c'est lui qui fera la synthèse des résultats partiels. C'est une tâche lourde : ne sera pas forcément bon archéologue celui qui, muni d'un manuel de fouilles, aura recueilli systématiquement industrie, faune, sédiments, et adressé le tout aux laboratoires en priant les spécialistes d'en tirer le maximum.

Le préhistorien ne peut plus être actuellement, comme il l'a été longtemps, uniquement un typologiste. L'archéologue du quaternaire, quelle que soit l'aide que lui apporteront les laboratoires et s'il ne veut pas se résigner à n'obtenir que des résultats disparates et décevants, devra être avant tout un géologue. Il devra connaître suffisamment les diverses techniques d'étude des sédiments pour en jouer habilement et tirer ll maximum de leur intrication.

La chimie s'intrique avec la granulométrie. Peu importe, en effet, de savoir que telle couche contient tel pourcentage de phosphate de chaux si l'on n'a pu remarquer qu'il provient de tel grain remanié d'une phosphorite tertiaire, alors que dans tel autre gisement ce phosphate compris dans une autre fraction granulométrique sera révélateur d'un niveau autrefois riche en os ou en coprolithes écrasées [1].

La granulométrie s'intrique avec la morphoscopie : qu'une courbe montre, par exemple, deux maxima pour un sable, quelle conclusion pourrons nous en tirer si l'on néglige l'examen morphoscopique qui nous

1. Excréments calcaires des carnassiers s'alimentant d'os : hyène et ours des cavernes.

montrera des quartz de deux sortes, les uns anguleux les autres complètement roulés, les uns venant du démantèlement d'un filonet de quartz du schiste sous-jacent tandis que les autres sont arrivés là, charriés pendant des kilomètres dans l'eau d'un fleuve.

La valeur d'une étude archéologique ne résidera donc pas tant dans la mise en pratique de chacune de ces techniques que nous avons décrites, que dans la science et le talent de l'utilisateur, dans son aptitude à tirer de ces indices des résultats valables par des recoupements et une analyse judicieuse suivie d'une synthèse équilibrée.

Sur ce chantier de l'archéologie préhistorique où quantité d'outils et de matériaux sont rassemblés, souvent en désordre [1] où des travailleurs spécialisés sont prêts à se mettre à l'œuvre pour trier et construire, il faudra toujours si l'on veut que l'édifice se lève un architecte compétent. Cet archéologue du quaternaire ne peut se passer d'être géologue [2].

* * *

1. A. Cailleux, *Bull. Soc. Préh. Fr.*, 1946, p. 183.
2. La nécessité de cette formation géologique décroît évidemment pour les époques les plus récentes.
3. Voir appendice p. 314-315

CHAPITRE V

ÉTUDE DES VESTIGES ZOOLOGIQUES

Dès les premières recherches de préhistoire les vestiges de la faune « antédiluvienne » ont retenu l'attention et depuis un siècle il a toujours été de règle de faire figurer dans les publications au moins une énumération des animaux exhumés. Cette énumération en quelque sorte classique se limite généralement à l'énoncé des espèces rencontrées dans chaque couche, plus rarement à une esquisse statistique, mais il est beaucoup plus exceptionnel de trouver des indications précises sur les caractères de détail des sujets. En pratique seuls les vestiges humains ou ceux des grands singes ont jusqu'à présent fait l'objet de recherches poussées jusqu'à la détermination raciale.

L'intérêt de la détermination zoologique est fondé sur trois ordres différents de préoccupations : la climatologie, l'ethnographie et la paléontologie zoologique.

Les vestiges sont d'une part des Invertébrés, en particulier diatomées et mollusques, d'autre part les restes de Vertébrés et plus généralement de Mammifères.

L'étude des invertébrés du Quaternaire a depuis longtemps retenu l'attention des géologues, accoutumés à ces reliques dans les sols plus anciens. Malheureusement les études d'ensemble sont encore rares et les liaisons entre les niveaux à coquilles de mollusques des sédiments marins ou d'eau douce et les riches niveaux à mammifères et à industrie humaine des cavernes sont jusqu'à présent incomplètement éclaircies. Cela ne donne que plus d'intérêt à l'étude approfondie des invertébrés que le préhistorien s'efforcera de rechercher et de récolter avec le même soin stratigraphique qu'il apporte au reste des vestiges. L'association, dans un même horizon, de vertébrés et d'invertébrés est particulièrement intéressante, les mollusques étant de bons indicateurs climatiques, du moins pour certaines espèces.

Nous traiterons plus spécialement ici des vertébrés, en partie du fait de nos recherches antérieures et de l'intérêt que présentent les vestiges pour l'étude ethnographique, en partie parce qu'abstraction faite des

techniques de préparation, les principes d'étude restent les mêmes dans tous les cas, et peut-être surtout parce que chacun admet aisément que les mollusques fassent l'objet des travaux d'un véritable spécialiste, alors que les vestiges des mammifères, des oiseaux, des reptiles, des amphibiens ou des poissons ont fréquemment été l'objet d'une étude quelque peu superficielle. Ces vestiges sont limités généralement à des squelettes, plus généralement même à des os séparés et, dans les sites d'habitation humaine, la règle souvent plus stricte est qu'on ne dispose que de fragments d'ossements d'animaux réduits aux seules dents ou aux épiphyses. Un tel matériel ne peut présenter de réelle valeur scientifique que s'il est suffisamment abondant et si sa position stratigraphique est déterminée avec une précision absolue, d'où la nécessité de remettre au zoologiste tous les vestiges osseux rencontrés avec des indications précises sur les couches de terrain et sur l'étendue de *chaque* niveau prospecté. Cette dernière précaution est indispensable pour toute tentative d'estimation statistique.

A l'origine de l'interprétation des matériaux se situe évidemment la détermination même, au sujet de laquelle le préhistorien qui interroge le zoologiste n'a pas toujours des idées absolument exactes. Suivant la nature des vestiges, le zoologiste peut n'atteindre que la détermination du genre, il peut établir l'espèce ou, dans des conditions favorables, distinguer les variétés raciales. Il est évident qu'une détermination générique ne présente qu'exceptionnellement la moindre valeur. La détermination spécifique (à laquelle se limite normalement la recherche courante) donne d'utiles indications mais il semble bien qu'elle ne corresponde plus toujours aux exigences de la Préhistoire qui, dans ses autres branches, saisit déjà des nuances beaucoup plus fines. De toute manière, le simple inventaire nominal des espèces tel qu'il paraît encore couramment dans les publications est notoirement au dessous des possibilités de la recherche.

Climatologie : L'idée immédiate qu'on se fait d'un inventaire de faune est qu'il apporte des éléments de datation. En fait, son apport est avant tout climatologique. Les plantes étant assez étroitement liées au climat et la faune végétarienne relativement liée aux plantes, la faune est dite « tempérée, froide ou chaude ». Il y a lieu de tenir compte des faits suivants : 1° si même on admet que les habitudes alimentaires des espèces courantes n'ont pas varié pendant le quaternaire, les oscillations climatiques ont pu ramener dans la même région la même espèce à des époques différentes. La durée biologique du renne ou du mammouth autorise à envisager leur réapparition deux ou trois fois au cours du Pleistocène.

2° la valeur climatique des carnivores n'est pas comparable à celle des herbivores ; dans nos régions l'association pléistocène renne-loup a fait place à une association cerf-loup puis finalement à une association mouton-loup jusqu'au XIXe siècle. Cela fait ressortir un des aspects importants du travail zoologique : l'établissement des associations faunistiques caractéristiques par périodes climatiques et par régions.

3º l'amplitude des variations hiver-été peut être suffisante pour déterminer par migration saisonnière l'alternance de deux groupes faunistiques différents. La présence simultanée du cheval, du renne et du chamois suggère à première vue un tableau de déplacements saisonniers. L'interprétation de ce tableau est réalisable dans quelques cas favorables par l'étude des courbes de mortalité (v. plus bas) mais elle implique toujours un matériel abondant et bien situé.

6º le caractère progressif des changements de climat peut entraîner par exemple, entre un niveau à renne exclusif et un niveau à cerf-chevreuil, l'apparition momentanée et discrète de l'élan qui dans les conditions ordinaires de la fouille ne sera pas nettement séparé de l'un ou l'autre des groupes majoritaires.

Par conséquent, avant de tirer argument de la faune pour dater un ensemble d'origine humaine, il faut tenir compte de la situation géographique régionale, du caractère des associations et des déplacements saisonniers ou climatiques mineurs. Il faut en outre ne pas perdre de vue que de la faune réelle de l'époque l'inventaire n'est l'expression ni en variété spécifique, ni en densité d'individus, mais le reliquat d'une sélection d'animaux opérée par les chasseurs, par les carnassiers et par les causes naturelles d'enfouissement et de dégradation des vestiges.

Il convient enfin de mentionner en passant que les fragments d'os, hors de toute interprétation proprement zoologique, constituent une partie intégrante des sédiments, fait qui est souvent oublié par le géologue. Il convient donc de mentionner de manière précise le volume relatif de la matière osseuse dans les échantillons de sols qu'on livre généralement au géologue soigneusement dépouillés des débris animaux. L'état physique de ces fragments, frais, usés, corrodés, roulés, striés, est une aide précieuse, surtout dans des milieux où les roches tendres font défaut et où les os sont la seule matière qui puisse enregistrer les petites actions physiques ou chimiques qui n'ont pas laissé de traces sur les matériaux durs.

Ethnographie : L'étude faunistique fournit d'utiles renseignements sur les habitudes techniques des hommes, abstraction faite évidemment des objets proprement dits comme les sagaies ou les éléments de parure et des os présentant des traces nettes de travail humain. Le reliquat d'os non travaillés présente une valeur par la sélection dont il témoigne et par le traitement qu'il a subi. Dans les deux cas, il est clair que seule la quantité de pièces d'une même couche assure une sécurité scientifique suffisante.

La sélection des vestiges fournit quelques éclaircissements sur les habitudes alimentaires et techniques. L'absence de certains os, la présence systématique de certains autres, conduisent à reconstituer de petits détails parfois extraordinairement précis de vie préhistorique. C'est ainsi que la rencontre très fréquente, au Magdalénien, de tarses de bouquetin ou de cervidés comportant calcaneum, astragale et naviculaire en connection (alors que les pièces en connection anatomique sont rarissimes dans ces

niveaux) a conduit récemment à l'idée extrêmement plausible que ces tarses étaient détachés avec le faisceau de tendons adhérents à la tubérosité postérieure, constituant ainsi une réserve de fils de couture comparable aux faisceaux de tendons que les Eskimos conservent pour le même usage [1].

Le traitement des fragments d'os conduit à des hypothèses intéressantes sur le débitage de boucherie, sur l'extraction de la moelle, sur l'emploi de poinçons de fortune [2]. En fait, la réflexion dicte, pour chaque gisement, les procédés propices à la recherche de nouveaux détails. C'est ainsi que la présence systématique de symphises maxillaires de chevaux, brisées en arrière des incisives, nous a conduit à l'hypothèse de racloirs moustériens en dents de cheval, hypothèse qui peut exiger de nombreux contrôles statistiques avant de jouir d'une probabilité suffisante.

En effet, avant de se prononcer sur la sélection comme sur l'état des fragments osseux, on ne saurait trop recommander la prudence. Les facteurs naturels de fracture par les carnassiers, ou par pression du sol, la corrosion chimique, agissent d'une manière parfois déconcertante. Les lignes de fracture sont commandées autant par le traitement que par les axes de moindre résistance de l'os, de sorte que les fragments peuvent donner par répétition du même processus naissance à des types sans intervention humaine. Les « poinçons », « racloirs », « pointes de lance ou de flèche » naturels sont très fréquents. Un autre facteur important joue également : l'usure par frottement. Le passage de l'homme et des animaux, dans toutes les cavernes, marque en les polissant les débris qui dépassent. De longues controverses ont eu lieu sur ce sujet [3] ; on peut y ajouter que lorsqu'une ancienne surface de sol est mise à découvert on constate non seulement que c'est la partie polie des fragments qui émerge de l'argile, mais que cette partie, loin d'être en général celle qui aurait normalement été usée par un travail humain correspond le plus souvent à l'arête supérieure de l'os reposant sur sa base de gravité.

Intérêt biologique : De tout temps la zoologie s'est intéressée à l'évolution de quelques unes des espèces que rencontre le préhistorien. Pourtant, sauf pour les primates, ce travail a été fait d'assez haut. Si nous savons très peu de chose sur l'évolution du renne, du cheval, de l'ours, du bœuf pour ne citer que les espèces les plus courantes la faute n'incombe pas entièrement aux zoologistes mais aux fouilleurs qui ont trop souvent négligé de recueillir un nombre suffisant de sujets, qui n'ont pas donné de précisions sur la situation des vestiges, qui trop souvent se sont contentés de se fonder sur leur jugement, suffisant pour déterminer

1. J. Allain, « Note sur un point de technique magdalénienne », *Bull. de la S.P.F.*, séance du 27 juillet 1950, t. XLVII, nº 67-68.

2. Henri Martin : Recherches sur l'évolution du moustérien dans le gisement de la Quina. Ossements utilisés.

3. A. Leroi-Gourhan, *La caverne des Furtins*, p. 78. *Préhistoire*, t. XI, 1950.

la présence du renne ou du bœuf mais illusoire lorsqu'il s'agissait de voir de quel renne ou de quel bœuf il s'agissait dans chacun des niveaux. Dire que rien n'a été fait dans ce sens serait excessif, dire qu'une étude minutieuse et répétée puisse tout résoudre le serait aussi, mais il est certain que la paléontologie du Quaternaire aurait une toute autre forme si les matériaux avaient été mieux exploités.

L'Europe occidentale et en particulier la France possèdent d'extraordinaires gisements où reposent couche par couche, sur une durée géologique considérable, des milliers d'animaux que la nature nous livre classés par ordre chronologique et par régions. Il serait inadmissible que tous les efforts ne soient pas faits pour tirer de ce matériel des enseignements précieux sur l'évolution générale et locale des espèces et des variétés. Ce que la génétique expérimentale fait sur les animaux vivants, la paléontologie peut le contrôler dans le temps. Cet aspect de la recherche a retenu les paléontologistes qui, dans le Secondaire ou le Tertiaire, ont déjà obtenu des résultats frappants [1] mais pour le Quaternaire et pour des espèces qui sont encore presque toutes vivantes et pour la plupart domestiquées, le travail est encore à ses débuts.

Possibilités et limites de la détermination zoologique.

Avant d'aborder les méthodes d'étude, il convient de dire ce que le zoologiste peut ou ne peut pas faire. La détermination n'a pas de critères uniformes : chaque espèce, chaque os, chaque région du même os présentent des possibilités de détermination différentes.

Etat des vestiges : L'idéal est de posséder plusieurs squelettes complets, en connection anatomique, d'individus d'âges et de sexes différents. Il est inutile de dire que même pour l'ours des cavernes, fossile abondant et complet par excellence, le cas n'existe pratiquement pas. A supposer qu'il soit fréquent, les difficultés ne seraient pas toutes résolues, certaines distinctions très importantes, atteignant même le cadre de l'espèce, étant fondées sur des particularités des parties molles. Il convient donc d'emblée d'admettre que certains animaux, parmi les Equidés par exemple, ne pourront pas être connus de manière absolument complète.

Dans la moyenne des cas le travail se fait sur des dents, sur des épiphyses d'os longs ou sur des os courts d'articulations et d'extrémités. Dans les cas favorables on peut étudier quelques os entiers ou des séries dentaires complètes, plus rarement des crânes. Il faut donc admettre également qu'un certain nombre de critères fondés sur les dimensions

1. G. G. Simpson : *Rythme et modalités de l'év-lution*, Paris, Albin Michel 1950, (bonne bibliographie de base, surtout pour les ouvrages en anglais).

longitudinales, les lignes d'ensemble de l'os échappent souvent. Il en résulte que les méthodes de mensuration ou de comparaison devront s'aménager de telle sorte qu'on puisse étudier par petites régions.

Nombre des vestiges : le préhistorien devra se convaincre que l'étude zoologique sera d'autant plus utile et précise qu'il rassemblera plus d'échantillons du même os dans chaque couche et pour chaque station. Il existe des animaux dont une petite phalange de pied signe la présence de manière éclatante, mais le meilleur travail porte sur les grandes séries. Seules elles permettent d'éliminer progressivement les erreurs liées à la varialibité individuelle, sexuelle, locale.

Valeur relative des différents os : la valeur relative des pièces osseuses est extrêmement variable d'espèce à espèce et d'un os à l'autre. Le frontal des chevaux est assez probant pour la variété raciale, la dentition est beaucoup moins marquante, la quatrième prémolaire inférieure des canidés est un bon fossile, l'humérus l'est beaucoup moins, la dentition des cervidés est très difficile à étudier au delà de l'espèce, parfois même du genre, les bois sont au contraire probants. La seconde molaire inférieure des ours est un assez mauvais guide, la troisième assure au contraire une bien meilleure prise sur les variations. On ne confondrait pas facilement le calcanéum du chamois et celui du bouquetin, pour l'astragale il faut prendre un peu plus de précautions. Il ne faut donc pas s'attendre à obtenir toujours des réponses très détaillées : on peut être surpris de recevoir une détermination générique pour un fémur entier alors qu'un fragment minime de tibia aura permis d'atteindre la précision spécifique.

Marge de détermination : si l'on suppose le cas de pièces raisonnablement caractéristiques, la marge de détermination reste variable. Il est admissible que tous les fragments suffisants conduisent, dans le Quaternaire, à la détermination de la *famille* (détermination philétique). Obtenir « Cervidé » ou « Canidé » est parfaitement inutile dans le cadre normal de nos recherches européennes, tout au plus peut-on admettre qu'un tel renseignement pourrait servir de guide en Australie au cours de premières recherches dans un horizon inconnu.

La précision générique est normalement atteinte. Un « Cerf », un «Renard» constituent souvent la limite réelle sinon apparente de bien des déterminations. Cette limite est insuffisante, elle aussi, mais dans bien des cas elle est raisonnable : des fémurs de Cuon, de Chacal, de Chien et de petit Loup peuvent très bien, compte tenu de la variation et du recul dans le temps, ne plus correspondre qu'à « un canidé de taille plutôt petite et assez proche du Chien ». Si les auteurs avaient toujours eu une grande prudence il serait inutile de faire ici allusion à ce qu'on pourrait nommer un « effet d'optique » : l'apposition sur le nom de genre d'un nom d'espèce souvent hâtif et mal justifié. Il existe bon nombre de fossiles qui paraissent spécifiquement fixés alors que leur personnalité spécifique réside uniquement dans le nom latinisé de la carrière où ils ont été découverts

ou de son inventeur. Sauf cas très exceptionnel il est difficile de créer une bonne espèce sur un fragment isolé. Depuis quelques dizaines d'années la paléontologie s'est d'ailleurs montrée sensiblement plus prudente à cet égard.

La détermination de l'espèce est l'idéal moyen. Elle est accessible dans un grand nombre de cas mais il y a des distinctions importantes à faire dans les matériaux. Il est facile sur toutes les pièces courantes de séparer le Renne (qu'on classe d'ailleurs peut-être un peu arbitrairement *Rangifer tarandus* pour tous les sujets du Pléistocène moyen et récent), on distingue de même sans trop de difficultés le bouquetin, le chamois, la saïga, le chevreuil, l'élan. Mais pour les cerfs il y a difficulté à atteindre le degré spécifique sur une grande partie des matériaux et, pour les bovidés, entre bœuf et bison le flottement dépasse facilement les limites génériques.

La détermination des sous-espèces, pour ne pas parler des nuances raciales et régionales, échappe pratiquement aux critères courants. Elle requiert un nombre important de sujets pour chaque site car pour éliminer les facteurs d'erreur individuelle on est contraint de travailler sur un type moyen, issu de la statistique. Elle requiert surtout la personnalité d'un technicien familier avec l'espèce étudiée. Dans tous les corps de métiers on utilise les qualités d'appréhension immédiate et extrêmement précise du technicien pour saisir des nuances que les procédés mathématiques ne font souvent que justifier *a posteriori*. Le sens gustatif du dégustateur en vins ou le sens tactile du courtier en perles fines sont des qualités admises et éventuellement démontrables par voie statistique. Celles de l'anthropologue ou du zoologiste sont en réalité du même ordre, fondées sur une certaine aptitude naturelle, beaucoup d'entraînement, et justifiées par des procédés empruntés aux techniques scientifiques. Il est peu de paléontologistes qui, ayant longuement travaillé sur une espèce et percevant ses nuances au point de pouvoir classer des groupes bien distincts, ne se soient ensuite torturés, parfois pendant de longs mois, avant de trouver le moyen de donner une démonstration scientifique à cette perception. Combien de fois est-il arrivé aussi que, croyant avoir trouvé le moyen, ils aboutissent à un groupement différent et tout aussi convaincant des matériaux... On donnerait une idée fausse quoique pittoresque de la recherche paléontologique si l'on voyait le chercheur appliquant sereinement des règles de trois à des fragments de tibia pour en tirer, après passage dans la machine à calculer, l'image vivante de rennes de race charentaise broutant une toundra pléistocène.

Technique de la détermination.

La détermination est avant tout une méthode de comparaison et l'on peut diviser ces techniques en

comparaison par examen direct
par examen graphique (ou photographique)
comparaison indirecte par mensurations
par indices
par profils graphiques.

On peut en outre envisager la comparaison de sujets isolés ou la comparaison statistique par groupes, ce pour chacune des techniques mentionnées plus haut.

Examen direct.

Toute détermination est comparative, même si le paléontologue compare sa pièce à une image mentale. Ce fond initial d'images est d'ailleurs absolument nécessaire, il implique une formation suffisante pour qu'à peu d'exceptions près on parvienne d'emblée au point spécifique pour toutes les espèces normalement rencontrées.

Devant la sollicitation immédiate d'une pièce présentée surgit par réflexe une première réponse : « calcanéum... gauche... de cervidé... de renne ». Dans une suite d'images l'os a été placé dans le tarse, articulé sur l'astragale pour fixer sa position à gauche, la jambe a été construite pour fixer la taille qui oriente vers les cervidés (il est inutile de dire que la position parmi les ruminants s'est faite dès la présentation). La taille fixée, une série de confrontations s'ébauche : proportions des apophyses, contours plus ou moins nerveux de l'os, relief de la facette astragalienne, les bovidés sont éliminés, le bœuf musqué également, la détermination de cervidé se précise. Un retour se fait vers l'animal entier et vivant, l'image de la jambe du cerf et de celle du renne apparaît ; segments plus trapus, jarret plus gonflé, assise du pied plus large, aspect plus amolli de l'articulation : le renne.

Si la détermination peut s'arrêter en ce point sur le terrain, au laboratoire elle ne fait généralement que commencer, le calcanéum se dirige vers un casier déterminé, avec les mêmes os de la même couche. S'il y a doute spécifique nous nous transportons vers un tiroir où se trouve une bonne série de comparaison, nous l'essayons sous tous les angles avec différents ruminants, puis avec différents rennes. On ne saurait trop conseiller dans les cas un peu délicats de repartir du plus général et d'éliminer progressivement les espèces non conformes, on évitera quelques lourdes erreurs qui surviennent lorsqu'on confirme directement sur l'es-

pèce supposée. Par la suite cette révision constante portera ses fruits dans la perception de nuances plus fines.

Lorsque la détermination spécifique est assurée on peut limiter le travail à une description détaillée des parties de l'os et de leurs proportions relatives, mais en pratique normale l'os déterminé entre dans une série et nous le retrouverons tout au long des opérations indirectes et statistiques.

Comparaison graphique : un calcanéum de renne peut, parce qu'il est seul et provient d'une couche ancienne où sa présence est insolite, laisser des doutes. Nous procédons alors à une série de reproductions sur calque de ses contours caractéristiques. Le dessin peut être exécuté à la chambre claire ou sur photographie, mais il est incomparablement préférable d'utiliser un appareil de reproduction, un pantographe ou un dioptographe qui donne une projection rigoureuse. Nous exécutons le dessin au double de la grandeur naturelle et superposons ensuite le calque à une série de calques analogues établis sur des calcaneums de différents cervidés actuels et fossiles (fig. 22). Les proportions apparaissent avec netteté, on peut tracer des axes, mesurer des angles, prendre certaines mensurations peu

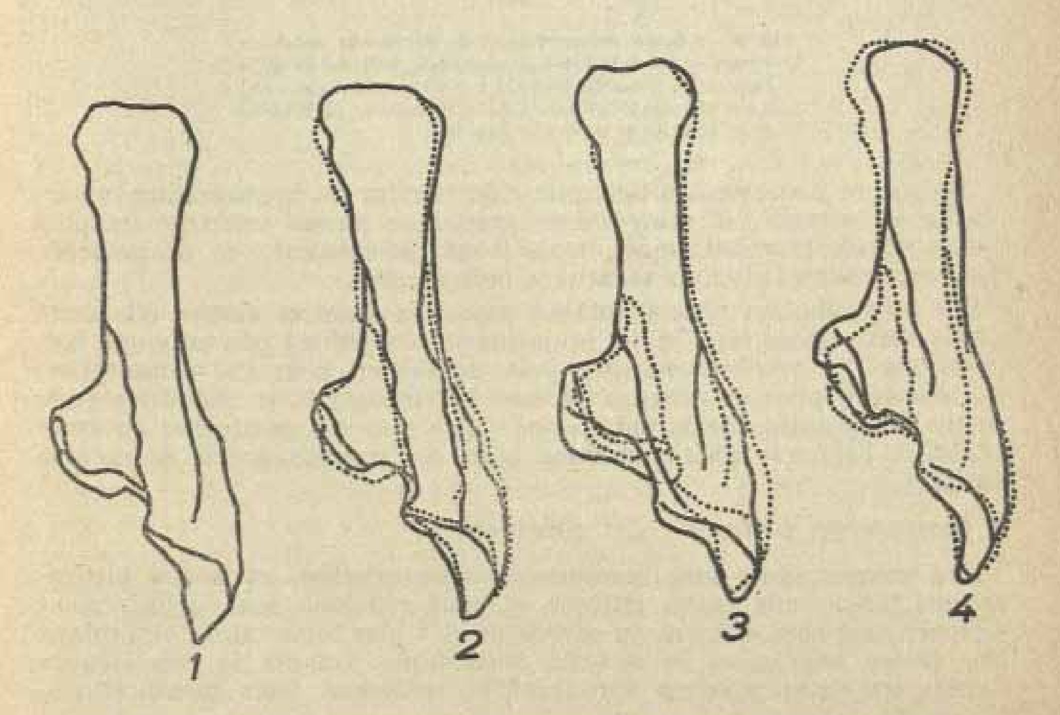


Fig. 22. — *Profils caractéristiques (vue postérieure) d'un calcaneum à déterminer (1) et superposition du même (en pointillé) avec un cervidé (2), un chamois (3), un capridé (4). Les profils ont été ramenés à la même longueur du grand axe.*

praticables sur l'original. Certains appareils[1] permettent même de réaliser des coupes graphiques qui révèlent par exemple des lignes de torsion mal perçues directement (fig. 23).

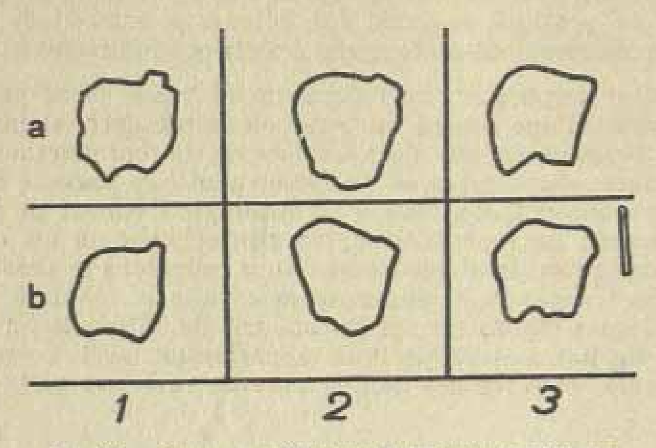


FIG. 23. — *Coupes caractéristiques de calcaneums prises au niveau du bec de la facette astragalienne, montrant les différences entre ovicapridé (mouton, 1 a et b), antilope (chamois, 2 a et b) et cervidé (chevreuil, 3 a et b), de même que la variabilité individuelle (série a et série b).*

Ici encore il convient d'être averti des limites de la variabilité individuelle ou sexuelle, la comparaison graphique faisant ressortir les plus petits détails morphologiques, mais il est précisément peu de procédés meilleurs pour étudier les variations individuelles.

La détermination photographique répond à d'autres usages, elle remplace relativement bien l'objet lui-même si le cliché est pris en grand format. C'est un procédé commode pour un fichier, pour une consultation à l'extérieur, pour un échange de vues à l'étranger et en définitive l'appoint indispensable de la publication. Mais sauf cas particulier on évite d'utiliser l'épreuve photographique pour des travaux précis de mensuration.

Comparaison indirecte : Les mensurations.

Les mensurations sont absolument indispensables, mais des mensurations faites sans esprit critique et sans réflexion sont délibérément nuisibles, car elles donnent au chercheur et à plus forte raison au profane une fausse impression de sécurité scientifique. Depuis de très longues années les anthropologues éprouvent et critiquent leurs mensurations,

1. SERGI (Sergio) : *Pantogoniostato craniosteoforo e assidiatetero. Revista di antropologia*, vol. XXXVII, Rome, 1949-50.

de sorte que, pour le crâne humain et les principaux ossements, on dispose de diamètres pour la plupart précis et significatifs. En zoologie il en est de même pour un certain nombre de mesures comme la longueur de l'arc des molaires, les grands diamètres craniens. D'une manière générale on peut considérer que les mensurations couramment admises satisfont aux besoins de la détermination jusqu'àu degré spécifique pour les espèces de difficulté moyenne. Soulignons d'ailleurs immédiatement qu'il y a un certain arbitraire à nommer sur la foi d'une correspondance rigoureuse dans les mensurations *Arvicola terrestris monticola* un rongeur pléistocène qui par ses caractères répond effectivement aux formes d'*Arvicola terrestris*. Dès que le recul du temps prive des critères empruntés aux parties molles il est préférable de ne signaler les variétés sub-spécifiques que par rapprochement, par exemple : *Arvicola terrestris* dont les dimensions s'accordent avec celles d'*Arvicola terrestris monticola* ou *Arvicola terrestris* cf. *monticola* actuel. En effet l'apposition du terme sub-spécifique ou racial *monticola* introduit un critère climatique précis, dont il convient de signaler l'éventualité sans la poser de façon formelle pour la bonne raison que même en possession de deux échantillons actuels complets (squelette et fourrure) on est parfois très embarrassé.

L'établissement des mensurations exige de nombreux tâtonnements. Si l'on veut réellement qu'elles expriment quelque chose de plus précis qu'un ordre de grandeur on est souvent contraint de se livrer à des améliorations progressives, améliorations qui, un jour obligent à reprendre au départ un travail déjà fondé sur des milliers de sujets. Cette nécessité de parvenir à des mensurations significatives est assez importante pour que nous développions un exemple détaillé.

La molaire des équidés est un sujet qui a déjà sollicité un grand nombre de spécialistes, en raison de l'importance qu'il y a à posséder des critères pour démêler l'histoire très complexe des chevaux à travers tout le pléistocène. Si l'on considère les mensurations préconisées par un auteur déjà un peu vieilli (fig. 24A) on constate :

1° que le diamètre 1 est entaché par les variations individuelles du pli antérieur du parastyle (a) et par celles des deux plis du mésostyle (b).

2° que le diamètre 2 est affecté par l'usure des faces mésiale et distale de la dent, usure qui peut dépasser 1 mm 1/2. En outre ce diamètre, pris sur la face triturante de la dent, varie suivant le degré d'usure (âge du cheval) dans une proportion de parfois 5 mm.

3° que le diamètre 6 (hauteur au dessus du bord de l'alvéole) n'a pratiquement aucune signification dans toute la série des équidés.

6° que le diamètre 5 (hauteur totale) comprenant les racines est inapplicable sur 50 à 80 % des dents anciennes où les racines sont normalement déficientes.

4° que le diamètre 3 (longueur du protocône) est le seul susceptible d'exprimer une valeur utilisable, mais qu'isolé il ne peut être comparé aux autres diamètres, tous entachés d'erreur.

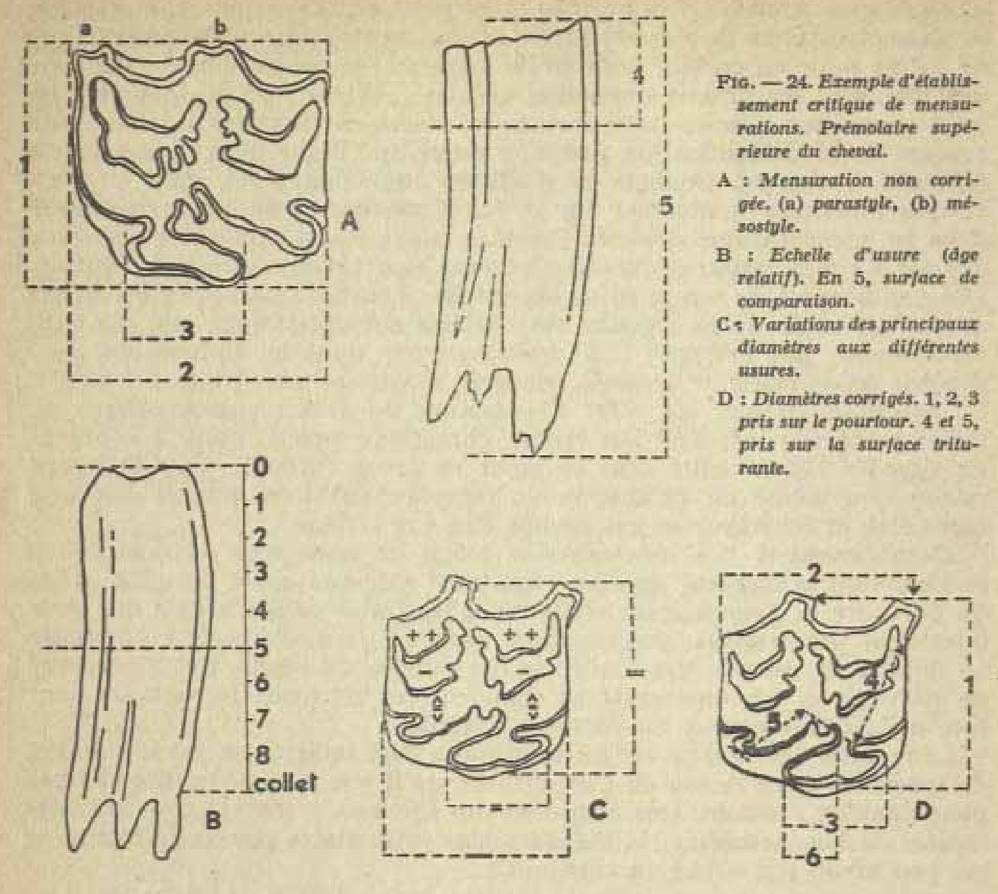


FIG. — 24. *Exemple d'établissement critique de mensurations. Prémolaire supérieure du cheval.*

A : *Mensuration non corrigée.* (a) *parastyle,* (b) *mésostyle.*

B : *Echelle d'usure (âge relatif). En 5, surface de comparaison.*

C : *Variations des principaux diamètres aux différentes usures.*

D : *Diamètres corrigés.* 1, 2, 3 *pris sur le pourtour.* 4 *et* 5, *pris sur la surface triturante.*

La correction de ces diamètres suppose une série de recherches préalables que nous résumons ici.

1° établissement sur une série d'équidés de nature connue des tailles très petite-petite-moyenne-grande-très grande pour les prémolaires 2, 3 et 4, les molaires 1, 2 et 3.

2° pour chaque classe de taille et chaque dent, établissement d'une échelle d'usure qui servira aux mensurations comme à l'établissement des courbes de mortalité (fig. 24B)

3° fixation de la prise des diamètres en un point d'usure fixe (le point 5), ce qui implique la division des diamètres en deux séries : ceux qu'on peut prendre sur le pourtour et ceux qui exigent que la dent soit sciée au point 5. La première série sera étudiée de telle sorte qu'elle assure la prospection des sujets par grandes quantités alors que les mesures à prendre sur dents sciées seront limitées aux cas spéciaux. On peut d'ailleurs

établir pour l'espèce étudiée une table de compensations qui permet de limiter le sciage à un nombre réduit de sujets. Cette table est établie à l'occasion de l'opération suivante.

4° sur une série de dents sciées chacune à différents niveaux on établit l'amplitude de variation des diamètres envisagés (fig. 24C). On se rend compte alors que les diamètres transversaux ABCD sont en général peu variables sur toute la hauteur de la dent mais que, par contre, de tous les diamètres longitudinaux, la longueur du protocône (E) est le seul qui présente une constance suffisante.

Une série de vérifications complémentaires établit les points exacts où doivent être posées les pointes du compas et l'on se rend compte (fig. 24D) qu'il suffit de noter le degré d'usure de la dent et de prendre trois diamètres à la hauteur du point 5 pour obtenir un premier tableau des proportions dentaires réellement utilisable pour la prospection.

Cet exemple, développé, dispense de démontrer plus avant combien l'établissement des tableaux de mensurations demande de réflexion et d'expérience, c'est précisément pendant la période d'élaboration que jouent les qualités de perception de l'observateur, qualités qui inspirent des solutions plus ou moins ingénieuses et qui abrègent les tâtonnements.

Précision des mensurations : Il importe évidemment que les mensurations soient précises, surtout quant aux points où elles sont prises. Lorsqu'il s'agit de très petits sujets, des souris par exemple, il y a intérêt à pratiquer les mensurations à la loupe binoculaire aménagée avec une platine mobile graduée et un oculaire réticulé. Pour les mensurations au-dessus de 5 mm. on utilise le compas à glissière. La précision des mensurations est d'un 1/2 mm. pour les diamètres courts (entre 5 mm. et 5 cm. environ) d'un mm. pour les grands diamètres. On pousse parfois la précision jusqu'au 10e de mm., mais l'expérience montre que dans ce cas les causes d'erreurs variées annulent rapidement le gain qu'on espère réaliser. Pour les très petites mensurations on utilisera le procédé des physiciens : mensurations multiples du même diamètre et calcul de la moyenne arithmétique.

Les mensurations sont utilisées brutes pour donner une idée précise de la taille des vestiges, mais leur principal usage est en divers procédés d'indices et de courbes qui assurent une comparaison facile entre les sujets.

Les indices :

La méthode des indices consiste à comparer deux mesures en établissant la valeur de la première par rapport à la seconde amenée à 100 $\left(\frac{x}{y}\right)$. Pour la commodité de maniement on emploie souvent une formule $\frac{x \times 10 \text{ (ou 100)}}{y}$,
L'anthropologie fait un grand usage des indices (indice céphalique, facial.

nasal etc...) et la paléontologie s'en sert assez fréquemment. Il y a grand intérêt à le faire chaque fois qu'il s'agit d'établir des proportions en dehors de toute considération de dimension absolue. Si l'on prend une série d'astragales de ruminants, les indices de longueur-largeur $\frac{l \times 100}{L}$ auront une signification différentielle entre tous les échantillons de même taille moyenne (chevreuil, chamois, saïga, bouquetin, mouton), ils n'auront plus la même valeur entre des séries de taille différente (chevreuil, cerf, bœuf) et leur emploi doit chaque fois être fait en connaissance de ces variations possibles de signification et en concurrence avec d'autres procédés. L'évolution vers les très grandes et les très petites tailles, dans toutes les séries animales, s'accompagne, pour des raisons étrangères aux critères proprement spécifiques, de modifications convergentes par classe de taille et non par groupes taxonomiques de sorte qu'il faut introduire comme correctif aux indices un procédé qui restitue les valeurs plus proprement spécifiques.

Il est rare au surplus qu'un seul indice soit suffisant pour caractériser, il faut par conséquent mettre en série deux indices ou plus, choisis pour exprimer le plus exactement possible les proportions de l'objet de la recherche.

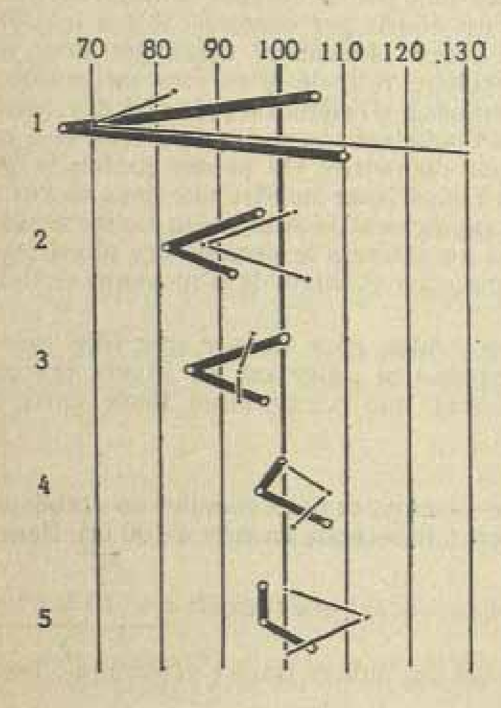


FIG. 25. — *Profils graphiques établis sur des prémolaires de chevaux.*
1 : *Pliohippus d'Amérique du Nord.*
2 : *Arcy-sur-Cure, forme ancienne.*
3 : — *, niveau moustérien inférieur.*
4 : — *, niveau moustérien supérieur.*
5 : — *, niveau aurignacien inférieur.*
Trait épais, de haut en bas :
largeur de l'ectolophe (diam. 2, fig. 24)
longueur du protocone (diam. 3)
longueur du métalophe (diam. 4)
Trait fin, de haut en bas :
largeur maximum (diam. 1)
long. lobe post. protocone (diam. 6)
longueur du protolophe (diam. 5)
Ces profils montrent, pour la même composition des diamètres :
— *l'augmentation progressive du volume de la dent.*
— *l'allongement du protocone, en particulier pour la portion postérieure*
— *la régression relative du protolophe.*

Les profils graphiques :

Les indices mis en série peuvent servir à constituer un graphique mais lorsque la chose est possible il est préférable de recourir à la construction d'un profil graphique [1].

Le profil graphique suppose la prise préalable d'un certain nombre de mensurations sur un grand nombre de sujets pour éliminer les causes d'erreur. On établit pour chaque diamètre une moyenne [2], à laquelle on donne la valeur 0 (ou 10, 100 suivant les cas). On établit alors de 1/2 mm. en 1/2 mm. l'indice de chaque dimension par rapport à la moyenne pour constituer une table. Ce très long travail préalable terminé on peut très rapidement établir pour un sujet donné le graphique de ses écarts par rapport à la moyenne (fig. 25). L'avantage de la méthode des profils est de donner une image fidèle du sujet à la fois en proportions (indices) et en taille absolue, ce qui permet de faire ressortir avec une grande netteté les variations liées à la taille, et aux différents facteurs.

Statistiques de dénombrement.

De trop nombreux chercheurs ignorent ou négligent encore les ressources que peut offrir la statistique. Si certains travaux ne sont accessibles qu'au spécialiste un certain nombre de données peuvent être exploitées par la plupart des fouilleurs bien formés.

Il est inutile de souligner que les considérations qui vont suivre impliquent à l'origine des matériaux une discrimination stratigraphique absolument rigoureuse et un repérage qui situe au moins mètre carré par mètre carré chaque vestige. Quoique moins absolue que la première, l'inobservance de la seconde condition prive la recherche d'une part importante de ses possibilités.

Dénombrement des individus : Le dénombrement des individus n'a de signification que si l'on connaît la surface et le volume de terrain fouillé pour chaque niveau. En effet il est courant qu'une fouille ait exploité beaucoup plus de surface des couches supérieures que des bas niveaux et il est d'autre part illusoire de tenter une estimation significative sur un nombre trop réduit de mètres carrées.

1. P. Wuilleumier, A. Audin et A. Leroi-Gourhan, *L'église et la nécropole de Saint Laurent*, Lyon. 1949 (exposé, pp. 75-80, de la technique des profils graphiques appliquée à la craniologie).

2. Nous avons cru inutile d'expliquer les termes statistiques utilisés dans ces pages. Le lecteur trouvera éventuellement une excellente initiation dans : A. Vessereau, *La statistique*, Collection « Que sais-je ? », n° 281. Paris, Presses Universitaires, 1947, et de nombreux schémas d'application dans Simpson, *Rythme et modalité de l'Evolution*, déjà cité.

Pour des raisons pratiques le dénombrement est effectué sur des pièces propices et non sur la totalité des ossements ou fragments. Il implique la possession de tous les éléments propices du secteur étudié, de sorte qu'il ne peut se faire au jour le jour. Les pièces propices sont à établir par une statistique préalable. Pour le Paléolithique l'expérience montre que les dents, les astragales, calcaneum et métapodes sont les plus propices, pour deux raisons : résistance à la destruction et sélection humaine. Il faut toutefois faire le dénombrement au moins sommaire de toutes les pièces utilisables pour s'assurer qu'il n'y a pas de fréquences anormales. Si l'on reprend l'exemple donné plus haut des tarses de ruminants qu'on suppose avoir été l'objet d'une coutume technique (conservation des tendons pour la couture) on constate effectivement dans les deux sites que nous avons pu étudier une fréquence parallèle des naviculaires des astragales, des calcanéums et des extrêmités distales de tibia, ce qui confirme l'ablation en masse de tous les éléments du tarse, dans le but probable de ne pas léser les tendons.

Pour dénombrer les sujets d'un niveau, les pièces (astragales par exemple) sont rangées par côté droit et gauche et par rang de taille. On compte toutes les pièces d'un des deux côtés, on y ajoute toutes celles de l'autre côté dont les dimensions ne sont pas encore représentées (compte tenu de menues variations entre côté droit et gauche), et finalement on incorpore au compte les pièces qui, dans le reliquat, présentent des caractères morphologiques qui ne peuvent avoir appartenu à aucun des sujets précédents. Le chiffre obtenu est le minimum possible de sujets. Il est évidemment arbitraire, les conditions de conservation et de sélection des pièces ne laissent subsister qu'une fraction infime des ossements d'un même sujet mais ce compte minimum est le seul raisonnablement utilisable.

L'intérêt immédiat du dénombrement ressort immédiatement d'un exemple très simple, élaboré d'après les données empruntées aux travaux d'un préhistorien qui fut en plusieurs domaines un précurseur des méthodes actuelles [1].

	Hyène	*Ours des cavernes*	*Cheval*	*Bœuf*	*Renne*
Grotte des Ours (moustérien)	8	71	50	12	5
Trilobite (Aurignacien)	1	5	4	1	5
Trilobite (magdalénien)	1	1	12	3	91

1. La statistique donnée ici a été établie en se fondant sur les inventaires très détaillés de l'Abbé A. PARAT, publiés dans : *La grotte de l'Ours, le Trou de l'Hyène et la grotte du Cheval... La grotte du Trilobite...* (à Arcy-sur-Cure, Yonne), *Bulletin de la Société des Sciences historiques et naturelles de l'Yonne*, 1901-1906.

Dans le premier cas (grotte des Ours) il y a superposition d'un repaire (71 ours, 8 hyènes) et de vestiges d'alimentation humaine correspondant à la série moustérienne finale (cheval dominant, bœuf moyen, renne rare). Le second cas se rapporte à des vestiges d'occupation humaine dans la même répartition faunistique alors que le troisième montre un changement profond : raréfaction de l'ours, cheval moins abondant, renne largement dominant.

L'interprétation d'un tableau de dénombrement faunistique est difficile, mais il est évident que dans le cas présent (où le chercheur aurait pu se borner comme c'est encore normalement le cas à énoncer la présence à tous les niveaux des cinq mêmes espèces)les chiffres ont une signification positive. Leur valeur, dans l'état actuel des recherches, est purement conventionnelle puisqu'ils ne correspondent ni au nombre vrai des animaux, ni à la liste exhaustive de la faune de l'époque (sélection de chasse alimentaire), ni même à la liste complète des espèces chassées (destruction des espèces fragiles : marmotte, lièvre, oiseaux, poissons dont la découverte accidentelle montre l'existence). Leur valeur climatique elle-même serait sujette à caution si la géologie ne montrait concuremment qu'il y a eu changement notable des conditions de sédimentation. Il faut par conséquent soumettre les chiffres obtenus à la vérification non seulement de toutes les hypothèses statistiques mais aux recoupements multiples des autres domaines de la recherche préhistorique.

Principales causes agissant sur les statistiques de dénombrement :

Destruction naturelle : Les facteurs de destruction physico-chimique introduisent une cause d'erreur difficile à estimer. On peut en faire une estimation relative par l'étude géologique et pédologique, l'état physique des ossements intervenant alors comme un des éléments du tableau de maturation des différents sols. L'étude corrélative de la densité d'outillage lithique fournit un élément complémentaire (à recouper par les causes d'erreur liées à la sélection technique : v. plus bas). A l'intérieur d'une même couche les variations sont sensibles aux différentes hauteurs, le fond est souvent très corrodé sinon complètement détruit, la partie moyenne est normale (compte tenu du caractère même du sol), la partie haute très altérée ou sélectionnée par des agents différents.

Carnassiers : L'erreur introduite par les carnassiers échappe elle aussi à une analyse *a priori*. La présence de traces sensibles (ossements d'hyènes, coprolithes, traces de morsures) a une valeur positive mais leur absence n'est pas probante.

Dans l'état présent de la documentation aucune appréciation statistique des causes liées à la présence des carnassiers ne nous semble accessible.

Sélection de chasse : Nous avons déjà signalé le choix que suppose la consommation humaine. La comparaison avec les peuples chasseurs-cueilleurs actuels est à cet égard des plus instructive : non seulement des préventions et restrictions variées font que tout ce qui pourrait être gibier n'est pas chassé, mais encore la liste des espèces de chasse est-elle d'autant plus courte que le gibier est plus abondant, le groupe finissant par se spécialiser, en période normale, dans la chasse d'un nombre restreint d'espèces particulièrement productives. Ce fait ne doit pas être perdu de vue lorsqu'on passe de la lecture d'un dénombrement à son interprétation climatologique.

Différents procédés statistiques permettent, en présence de vestiges nombreux et bien situés, d'établir l'origine cynégétique des ossements et leur caractère de débris alimentaires. Le plus simple consiste à établir la courbe de mortalité espèce par espèce.

Etablissement de la courbe de mortalité :

La courbe pourrait se fonder sur différents ossements : ramures, crânes, sabots en particulier, mais elle manquerait alors de précision dans les stades intermédiaires entre l'adolescence et la sénilité. Les dents offrent au contraire en général une abondance de sujets et des étapes d'usure qui permettent d'établir des échelles assez détaillées.

Lorsqu'il est possible on étudiera les dentures complètes par comparaison avec des animaux sauvages actuels d'âge connu, pour établir l'âge de sortie des différentes dents de lait et permanentes et les degrés d'usure. Mais cette recherche qui n'est pas toujours réalisable n'est pas indispensable puisqu'il s'agit de dresser à défaut d'une courbe d'âge absolu le tableau des variations d'âge relatif pour obtenir un tracé significatif.

Le matériel de base est alors constitué par les dentures plus ou moins complètes et les dents isolées, classées par lots, dent par dent. On détermine l'ordre de sortie des dents lactéales et les degrés d'usure successifs de toutes les dents. Pour les carnivores l'examen à la loupe permet de distinguer un premier degré 0 (usure nulle) puis de proche en proche des degrés qui vont jusqu'à l'usure extrême avec ouverture de la cavité pulpaire. Suivant les espèces on divise l'échelle d'usure en cinq à dix degrés de manière à obtenir les éléments d'une courbe de densité aux différents âges.

Le même procédé est applicable à tous les mammifères brachyodontes[1], au renne par exemple. Pour les mammifères hypsodontes la technique est plus simple. On établit sur un nombre suffisant de sujets une échelle

1. Les *brachyodontes* (carnivores, frugivores, insectivores, herbivores consommant des feuilles ou des végétaux tendres) ont des dents à couronne peu élevée, qui s'usent lentement.

Les *hypsodontes* (rongeurs consommant des écorces ou des plantes dures, herbivores broutant l'herbe mêlée de grains siliceux) ont des dents à couronne très longue dont l'usure rapide est compensée par les dimensions en hauteur.

d'usure (fig. 24) comme celle que nous avons mentionnée plus haut au sujet du cheval. Reportée sur une réglette cette échelle permet de mesurer instantanément, à partir du collet de la dent, l'âge relatif de l'animal. Il est inutile de dire que les estimations doivent tenir compte de l'ordre de sortie des dents, la première molaire se trouvant normalement à un état d'usure différent de la seconde.

Interprétation de la courbe de mortalité :

Quatre hypothèses peuvent se présenter dans l'interprétation (élimination faite des causes éventuelles d'erreur dûes à des facteurs naturels ou techniques) :

Espèce livrée à la mort naturelle
Espèce de chasse
Espèce d'élevage alimentaire
Espèce d'élevage de travail

Les quatre cas sont exprimés par des courbes de mortalité très différentes (fig. 26).

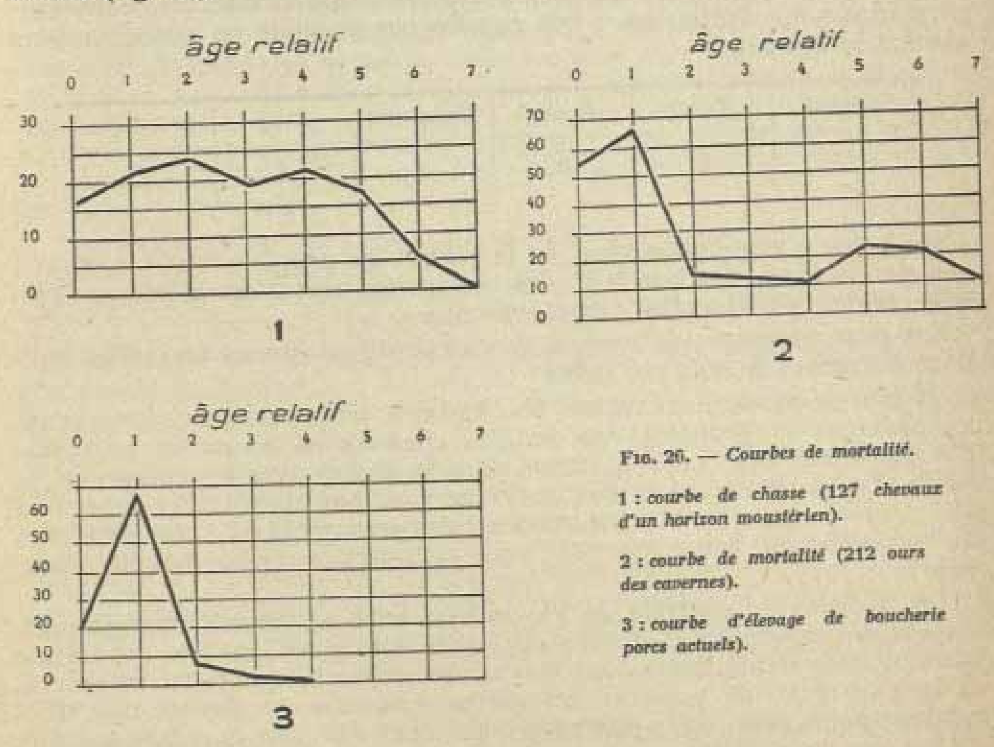


Fig. 26. — *Courbes de mortalité.*

1 : *courbe de chasse (127 chevaux d'un horizon moustérien).*

2 : *courbe de mortalité (212 ours des cavernes).*

3 : *courbe d'élevage de boucherie porcs actuels).*

L'espèce de chasse (1) présente (sauf technique de chasse limitée aux jeunes) une courbe d'allure gaussienne, très amortie pour les âges moyens et tombant assez rapidement pour présenter son minimum aux sujets âgés.

L'espèce à mortalité naturelle (2) présente en général un maximum de mortalité en bas-âge, un minimum pour les âges moyens, un redressement sensible pour les vieux sujets.

L'espèce élevée pour l'alimentation (3) présente son sommet vers les sujets jeunes, avant l'âge adulte et tombe brusquement à des valeurs insignifiantes (reproducteurs).

L'espèce utilisée pour le travail possède une courbe de mortalité semblable à la courbe naturelle avec des variantes (sommet sur les sujets âgés) qui exigent une étude critique de chaque cas particulier.

Sélection saisonnière : L'un des problèmes généraux les plus intéressants est celui des migrations saisonnières du gibier, problème auquel il a déjà été fait allusion. Il est en effet à peu près certain, pour la France en particulier, que bien des sites se sont trouvés dans un milieu faunistique variable suivant les saisons. Cette présomption doit être considérée avec beaucoup d'attention : que signifie par exemple un dénombrement comme le suivant ?

Cheval	*Bœuf*	*Renne*	*Bouquetin*	*Loup*	*Marmotte*
12	2	180	1	6	1

On peut y voir l'expression de la réalité du peuplement permanent : peu de chevaux, des bœufs et des bouquetins rares, marmotte accidentelle, renne très abondant, loup endémique.

On peut proposer plusieurs autres explications parmi lesquelles nous nous bornerons à suggérer celle-ci :

Station de passage des rennes, les chasseurs arrivent à l'automne, avant les passages, et profitent des derniers chevaux et bœufs en migration d'hiver vers le sud. Le loup arrive dans la région avec les troupeaux de renne. La marmotte et le bouquetin ne sont pas significatifs (une dent de marmotte qui a pu être incorporée à des ornements ou à une amulette, un calcaneum de bouquetin qui jouait peut-être le rôle de bobine à tendons).

Les moyens de contrôle de l'hypothèse sont affaire de circonstances. Ils seraient relativement aisés à appliquer si le gaspillage des documents ostéologiques n'interdisait tout travail de recherche comparative poussé. Il faut attendre de posséder des cartes régionales de densité des différentes espèces pour voir apparaître clairement des faits que nous sommes incapables de résoudre par induction.

On peut toutefois se fonder sur une statistique de l'état dentaire des jeunes pour les espèces à croissance rapide. La présence exclusive parmi les jeunes rennes de sujets de six à dix mois, suivant les régions, suppose une chasse hivernale.

On peut utiliser également, comme la chose a été faite, les bois de cervidés qui tombent à époques fixes [1].

Seule la recherche patiente de critères nouveaux et leur prospection méthodique permettra de faire progresser nos connaissances dans ce domaine particulièrement important.

Sélection technique : Il faut entendre par sélection technique, outre la chasse, toutes les causes d'origine technique, comme la cuisine, le choix de certains os comme outils ou matière première d'outils etc... en ne perdant pas de vue le caractère éventuellement négatif de la sélection, comme l'impossibilité technique de transporter le corps entier d'un bœuf ou d'un rhinocéros ou les restrictions de chasse ou de consommation, frappant, pour des motifs religieux, tel animal ou telle partie d'animal.

On conçoit qu'un champ aussi vaste suscite des sources d'erreurs nombreuses et réclame une prospection patiente.

Le tableau de dénombrement ordinaire n'apporte rien à cette source, sinon les valeurs très générales relatives aux principales espèces rencontrées et à leur importance numérique. En général lorsque le chercheur est frappé par la fréquence de tel os brisé de manière particulière il en établit un dénombrement stratigraphique, développe autour un appareil de critique statistique et se prononce sur le degré de probabilité de l'utilisation par l'homme.

La démonstration est d'autant plus difficile qu'on s'éloigne des périodes récentes : au Néolithique l'examen de la totalité des débris osseux d'un site autorise de nombreuses hypothèses qui peuvent, pour la plupart, être démontrées ou infirmées par la voie statistique (emploi électif de métapodes de tel ruminant pour tel type de poinçon, coutumes culinaires comme la consommation du jambon, utilisation probable de couvertures ou carpettes de peau d'ours par la présence élective des phalanges terminales, etc...). Au Paléolithique supérieur la fraîcheur des vestiges dans de nombreux sites autorise un travail encore très aisé, l'hypothèse n'est plus suscitée par des coutumes aussi proches des nôtres que celles des néolithiques, mais les chasseurs actuels offrent encore un champ à la comparaison (champ dangereux s'il n'est sévèrement soumis au contrôle critique). A partir du Moustérien il n'y a pratiquement plus d'insertion actuelle, les vestiges sont par surcroît très éprouvés par les agents naturels. On est frappé de temps à autre par la présence d'un os marqué d'incisions ou de traces de chocs, par un bois de renne fracturé d'une manière

1. R. de Saint-Perier, « Les migrations des tribus magdaléniennes des Pyrénées », *Revue Anthropologique*, XXX, 1920.

qui fait songer à des mouvements que l'homme est seul à pouvoir réaliser, par des éclats de diaphyses qu'on serait tenté soi-même d'utiliser comme poinçons : c'est absolument tout. Les recherches actuelles dans ce sens sont encore trop peu avancées pour qu'on puisse préconiser des voies formellement tracées, mais nous pouvons citer à nouveau l'exemple déjà donné des symphises maxillaires de chevaux. Un préhistorien, il y a quinze ans [1], avait signalé la fréquence de dents de chevaux ou de ruminants à racines brisées en milieu moustérien. Reprenant les mêmes constatations nous notons d'abord le fait que les dents brisées forment *in situ* des séries dentaires liées par l'os maxillaire ou la mandibule débités en trois bandes (côté droit, côté gauche et symphise) au ras des racines. L'hypothèse immédiate est que ces séries dentaires, (identiques pour les séries jugales chez le bœuf, le renne et le cheval, ce dernier comportant de plus des séries incisives) ont pu être utilisées comme râpes ou racloirs. Deux autres chercheurs, en d'autres régions et en milieu moustérien ou paléolithique supérieur, ayant fait des constations semblables cela paraît donner à l'observation un caractère assez général mais il reste à faire la démonstration expérimentale ou statistique de l'hypothèse. Limitons la démonstration aux seules symphises ; il apparaît :

1° Que la moitié des échantillons présentent une usure (lustrage) ou des écaillures du bord coupant des incisives qui n'existent pas sur le cheval vivant. De plus ces marques affectent en plus grande proportion la partie centrale de l'arc aux points où la pression est la plus forte si l'on admet l'emploi comme racloir.

Mais l'exposition d'une série d'incisives, à demi enfouie dans l'argile, est susceptible de déterminer par usure accidentelle, des aspects très voisins.

2° Un quart environ des pièces présente un mode de fracture par écartement des branches de la mandibule qui ne paraît pas avoir pu être provoqué autrement que par une très forte traction comme celle qu'un homme arc-bouté des pieds à l'une des branches et tirant des mains sur l'autre peut produire par un effort de tout le corps.

Mais le reste des pièces montre des fractures explicables par des causes moins théâtrales.

3° La densité des pièces est anormale, le nombre de symphises au m^2 dépasse largement le chiffre minimum de chevaux du dénombrement et, fait plus important, on les rencontre associées à l'industrie lithique dans des secteurs où les débris culinaires sont absents ou insignifiants.

Mais la statistique minimum n'exprime qu'une valeur arbitraire et les symphises sont des vestiges particulièrement résistants. Moins toutefois que les astragales par exemple, quoique ces derniers, pour des rai-

1. PITTARD, « Dents de Bos intentionnellement fracturées... », *Bull. de la S. P. F.*, 1935, n° 11.

sons de débitage de boucherie, aient pu ne parvenir dans le site qu'en plus petit nombre que les machoires.

Les statistiques fragmentaires qui testent ces différentes hypothèses donnent une haute probabilité à la présence élective des symphises de chevaux, une moyenne probabilité à la sélection technique par l'homme, l'emploi précis comme racloir étant technologiquement l'hypothèse la plus vraisemblable mais échappant jusqu'à présent à la démonstration statistique.

Conclusion sur la sélection et le dénombrement :

Des pages qui précèdent il apparaît que les statistiques de dénombrement sont appelées à jouer un rôle très important dans la recherche préhistorique. Leurs applications ne sont pas toutes neuves et à de fréquentes reprises les chercheurs, dès l'origine, ont conçu des procédés plus ou moins élaborés de vérification par la voie statistique des faits que leur intuition leur faisait pressentir. Mais il faut reconnaître que la règle générale a été l'ignorance ou la négligence de ce champ de travail, de sorte qu'après un siècle de travaux préhistoriques on se trouve encore a peu près désarmé devant des problèmes aussi simples que celui de la répartition saisonnière du renne en Occident.

Dans la premiere partie nous avons montré que la détermination, comme le dénombrement, exigeaient la totalité des pièces osseuses *déterminables*, la recherche des facteurs de sélection est plus exigeante encore puisqu'elle mobilise la totalité des vestiges osseux, jusqu'aux menues esquilles. La prospection de cette masse de matériel n'est pas réalisable dans toutes les fouilles, mais au moins jusqu'au jour où l'on possédera des standards bien déterminés pour chaque type de sélection il semble nécessaire de l'appliquer à tous les sites importants.

En effet, les exemples suivants empruntés à nos recherches de ces dernières années montrent qu'il existe des standards précis, quoique l'insuffisance actuelle des travaux empêche de donner des caractéristiques statistiques formelles.

Dans des conditions de gisement raisonnablement bonnes on peut distinguer parmi les vestiges de petits rongeurs si l'on est en présence d'une population de terriers ou s'il s'agit des débris alimentaires de rapaces. Fait important puisque la première hypothèse suppose une occupation postérieure au dépôt de la couche alors que la seconde fait état d'un fait stratigraphique probant.

On peut distinguer les vestiges des deux lots précédents et ceux d'un repaire de petit carnivore, de même qu'on peut tirer parti d'un terrier de lapin ou de renard pour contrôler statistiquement[1] des hypothèses relatives à un ossuaire d'ours.

1. A. Leroi-Gourhan : *La caverne des Furtins*, p. 82.

La distinction statistique entre les vestiges d'un fond d'habitation et ceux d'un amas de débris culinaires est souvent tout à fait évidente. Cette distinction conduit fréquemment à la détection de coutumes techniques qui seraient passées inaperçues.

L'inventaire et l'état des débris permettent de distinguer presque à coup sûr entre deux zônes cendreuses celle qui correspond effectivement à un foyer et celle qui ne représente que le reliquat d'une opération de balayage ménager suivie de l'abandon d'un tas de détritus. L'importance apportée aux soins du ménage nous a été révélée, dans plusieurs niveaux magdaléniens et aurignaciens, par l'étude des débris incorporés aux différents sols de l'époque. La statistique et le calibrage des vestiges laissent pour certains niveaux l'impression que les chasseurs de renne ne laissaient échapper au balai que « les épingles prises dans les rainures du parquet » (en l'occurrence les menus débris infiltrés entre les pierres d'un dallage sommaire).

Il serait inutile d'énumérer tous les cas où la recherche méticuleuse est payée de ses efforts, mais on saisit mal pourquoi tant de chercheurs suivent toujours les mêmes voies alors qu'il reste encore tant de documents à exploiter sur les bas-côtés.

Statistiques de variation zoologique.

Les statistiques de dénombrement font partie de la culture du préhistorien au sens large, du moins doit-il en posséder une connaissance suffisante pour entrevoir au cours de ses recherches le parti que le zoologiste peut tirer de ses matériaux. Les statistiques de variation sont au contraire le domaine pratiquement exclusif du biologiste et nous nous bornerons à en exposer brièvement l'orientation et les possibilités. On se reportera, pour les problèmes intéressant la paléontologie en général, à l'excellent ouvrage de Simpson, déjà cité.

Elles impliquent une connaissance approfondie du calcul des probabilités et des ressources les plus variées de la critique statistique, puisque leur objectif est de mesurer, sur des échantillons de populations, les minimes traces que l'évolution peut avoir laissées dans le temps géologiquement très bref du Pleistocène.

Echantillonnage : L'opération préalable consiste à choisir les échantillons sur lesquels portera la recherche. Pour prendre un exemple simple supposons un lot de cent douze métapodes d'ursidés présumés d'ours des cavernes provenant de quatre mètres carrés contigus mais de niveaux différents. Les hypothèses de départ sont :

1° Que ces métapodes peuvent avoir appartenu à la même espèce animale et qu'ils représentent les écarts individuels possibles d'une même « tribu » d'ours.

2° Qu'ils représentent plusieurs tribus de la même espèce.

3° Qu'ils représentent des sous-espèces ou même des espèces différentes.

4° Que les hypothèses précédentes peuvent se doubler de celle d'une évolution orthogénétique d'une couche à l'autre, au cours des temps.

Dans quelle mesure cet exemple que nous empruntons à un carnassier que nous avons étudié mais qui pourrait aussi bien s'appliquer à n'importe quel vertébré, mollusque ou diatomée peut-il conduire le zoologiste à préciser le jugement fondé sur la détermination directe, à le contrôler et peut-être à l'étendre ?

Sélection des critères : A l'issue d'une première prospection directe et statistique notre choix s'arrête entre autres critères sur le rapport existant entre la longueur totale et la largeur minimum du métapode. Les avantages de ce critère (distinction certaine des ours bruns et des ours des cavernes et facilité de prise des mensurations) en font l'instrument propice pour le test statistique.

Nous supposons terminée une série d'opérations préalables de prise des mensurations, établissement des indices, des corrélations entre les indices des différents métapodes, pour parvenir au point où nous possédons un inventaire des écarts positifs ou négatifs de chaque métapode par rapport à la moyenne du lot. Cela permet de construire la courbe de densité, qui apparaît comme une courbe de Gauss symétrique à faible dispersion. On établit l'écart-type ($\sigma = \frac{\sqrt{\Sigma fx^2}}{n}$) soit 1,63 et l'erreur probable ($0{,}6745 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$) soit $\pm$ 0,073.

Première conclusion : (fig. 27a) *si le critère choisi a une signification spécifique les ours étudiés présentent tous les caractères d'une même espèce, la répartition gaussienne de l'ensemble étant hautement significative.*

Pour procéder à une première vérification nous établissons la courbe de répartition des métapodes d'un certain nombre d'ours d'espèces différentes : ours brun actuel et sub-fossile, ours fossiles d'Italie (U. Etruscus, ours de Maspino).

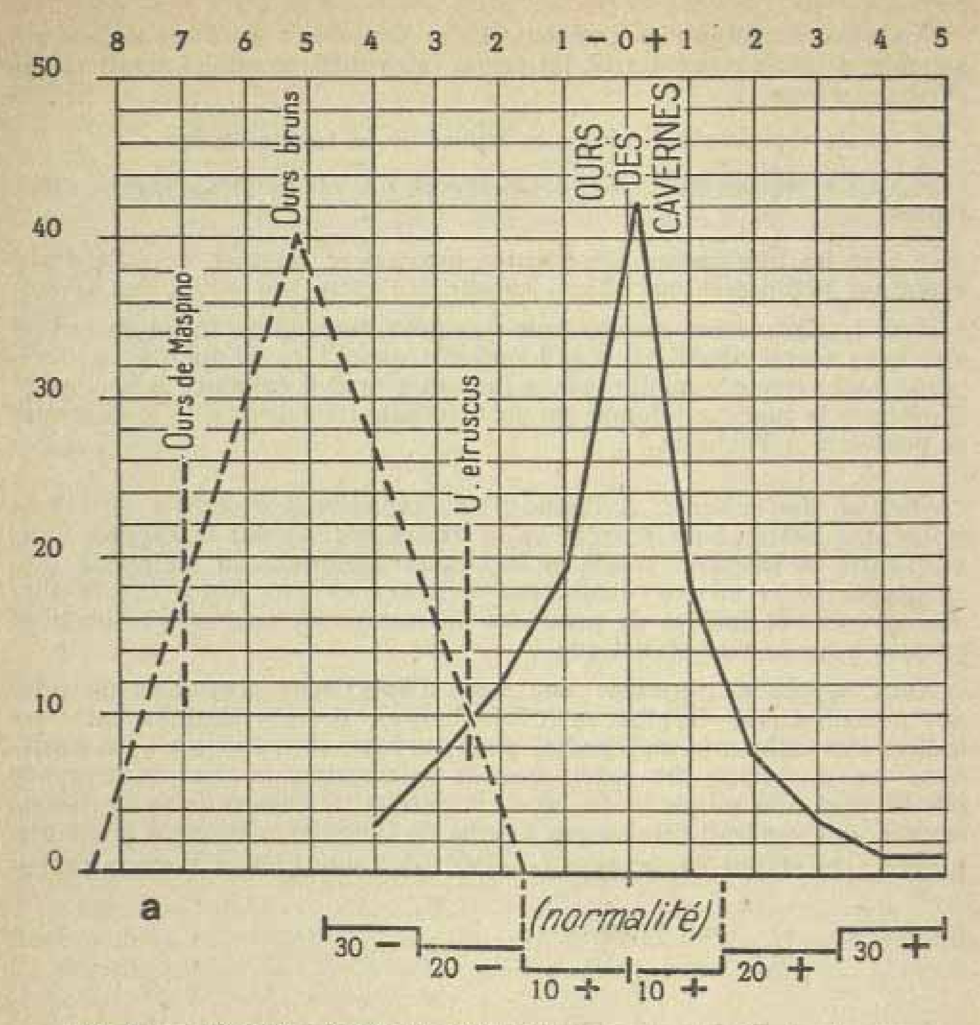


Fig. 27, a. — *Répartition statistique de l'indice longueur-largeur de différents métapodes d'Ursidés.*

a) *Groupement général des données.*

Seconde conclusion : la valeur spécifique du critère se confirme, les écarts par rapport à la moyenne de notre lot situant U. Etruscus entre les deux espèces, U. arctos nettement en deçà et U. Maspino à la limite inférieure de normalité de l'Ours brun. Il apparaît en outre entre -2 et -6 une zone de contamination entre les deux espèces.

Nous pouvons ensuite établir les courbes caractéristiques de chacune des couches où se sont rencontrés les documents. Les lots ainsi déter-

minés sont peu importants (8 à 60 sujets) et au dessous de 30 sujets la sécurité diminue sensiblement de sorte que nous nous bornons à reporter à l'intérieur de la courbe générale la moyenne et la dispersion de chaque série (fig. 27b).

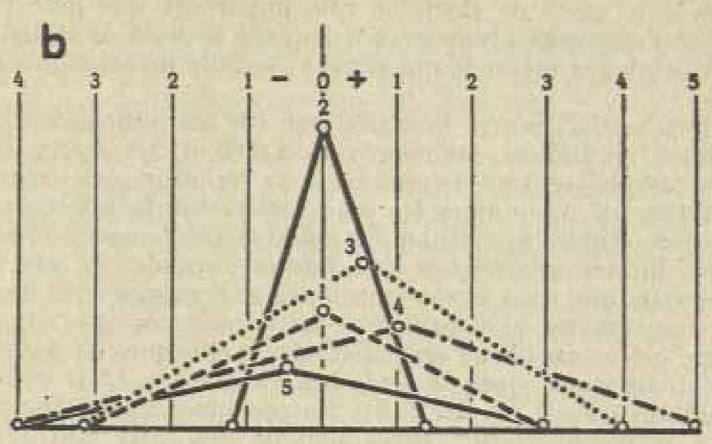


Fig. 27 *b.* — b) *Moyenne et dispersion des différents niveaux pour l'ours des cavernes.*
Les documents proviennent du sondage IV de la caverne des Furtius. Les niveaux sont chiffrés de la manière suivante :
1 : ossuaire 1 moustérien final ou post-moust.
2 : ossuaire 2 f haut moustérien récent.
3 : ossuaire 2 f base ou moyen.
4 : ossuaire 3 f niveaux plus anciens à outillage.
5 : ossuaire 4 f atypique.

Troisième conclusion : la distribution des moyennes et la dispersion à l'intérieur de la courbe générale n'autorisent pas formellement des distinctions sub-spécifiques (ce qui serait anormal avec un seul critère et un si petit nombre de sujets) *mais elles les admettent avec un degré de probabilité qui autorise à poursuivre la recherche d'autres critères statistiques.* En effet :

1° le déplacement régulier des moyennes des niveaux 2, 3 et 6 peut être lié à une orthogénèse (allongement progressif des métapodes) ce qui pourrait laisser supposer qu'on saisit une même variété à trois étapes de son évolution (fait qui paraît contrôlé par d'autres critères).

2° la faible dispersion du niveau 2 (38 sujets) paraît s'inscrire dans les limites étroites de la même « tribu », car elle n'atteint pas même les limites de normalité de l'ensemble (1σ),

3° les niveaux 6 et 5 par leur dispersion laissent au contraire supposer qu'on est en présence d'un mélange de types différents (confirmé largement par d'autres critères).

On constate qu'ils sont en fait presque entièrement responsables de la dispersion à 3σ : l'un pour les métapodes les plus trapus, l'autre pour les formes les plus proches du gabarit de l'ours brun.

Cet exemple que nous avons développé n'épuise pas les possibilités de l'élaboration statistique, il constitue en fait une base de départ et suppose la recherche de critères complémentaires et l'étude des corrélations qui peuvent exister entre les différents résultats obtenus. Il montre également avec assez de clarté le rôle important que joue l'hypothèse préalable et l'approche progressive à laquelle se livre le statisticien pour mettre au point une méthode qui dégage des faits inaccessibles à l'examen direct.

Suivant qu'on fait porter la statistique sur les dimensions brutes, sur les moyennes, les indices, les moyennes d'indices, les écarts, ou sur des caractères morphologiques accessibles à la sériation par examen direct, on peut tester les hypothèses les plus variées sur la sélection technique ou biologique, établir la division des mâles et des femelles dans une série, assurer des limites numériques aux formes normales et aux variations.

Les exemples que nous avons empruntés aux mammifères ne sont peut-être pas toujours les plus probants parce qu'il manque au mammalogiste ce qui est accessible au spécialiste des mollusques ou des diatomées : des populations statistiques de centaines d'individus. C'est dans le monde des invertébrés qu'ont pu être faites les premières applications de la statistique à la démonstration expérimentale des faits d'évolution biologique ou climatique, la paléontologie des invertébrés restera une des sources les plus intéressantes à prospecter, elle a été d'emblée le domaine du spécialiste. La mammalogie, parfois un peu maltraitée par des chercheurs dont la bonne volonté suppléait incomplètement à l'expérience, doit trouver auprès du préhistorien sur le terrain une pleine compréhension.

Le fouilleur doit avant tout savoir ce qu'on peut tirer, pour son profit, d'une faune complète et bien située dans ses niveaux. La fascination exercée par le beau silex commence à être moins désastreuse dans l'esprit de la plupart, les besoins du géologue se font peu à peu comprendre et les études de géologie du Quaternaire progressent notablement depuis quelques années, celle des animaux est un triple apport à l'étude des industries humaines, à la géologie et à la biologie.

La détermination des genres doit pouvoir être faite par le fouilleur, c'est la base de culture générale qui lui permet de connaître les contours de la pièce qu'il est en train de dégager et un praticien qui n'est pas capable de situer mentalement un fémur lorsqu'il en a vu apparaître une faible partie n'est pas protégé contre les maladresses.

La détermination des espèces, au moins des espèces courantes, est également souhaitable car elle situe climatiquement la couche et elle suscite des réflexions utiles. Au-delà, il est préférable que le praticien laisse reposer son jugement sur celui du spécialiste dont il devient le collaborateur immédiat. [1]

A. Leroi-Gourhan.

Professeur à l'Université de Lyon,
Directeur du Centre de Documentation
et de Recherches Préhistoriques du Musée de l'Homme.

1. Voir appendice p. 316

CHAPITRE VI

L'ÉTUDE DE LA FLORE

Les couches archéologiques fournissent souvent des vestiges de végétaux. A côté des fibres, bois, charbons, fruits et graines comestibles, dont la détermination est généralement pratiquée, on peut observer des organes végétaux dont la présence, indépendante de toute activité humaine, n'en est que plus précieuse pour la connaissance des conditions d'habitat contemporaines de la formation du dépôt. L'étude de ces derniers est malheureusement souvent négligée, et l'on se trouve ainsi privé d'une source de documentation précieuse et qui, dans beaucoup de cas, nous échappe de façon irrémédiable.

La richesse des couches archéologiques en vestiges végétaux est en fait très variable. Les sédiments minéraux, s'ils sont grossiers ou bien aérés, conservent mal les tissus. Il n'en est pas de même des vases lacustres, de marais, d'estuaires, des tufs, des sols humiques, des tourbes surtout. C'est dans ces sédiments fins ou organiques que la recherche des pollens, en particulier, peut être entreprise avec succès.

Après des observations isolées de pollens faites dans les tourbes par divers naturalistes, les suédois G. Lagerheim, puis Lennart Von Post, édifièrent peu à peu, entre 1900 et 1920, la *méthode d'analyse pollinique* telle qu'on la pratique actuellement. Les résultats obtenus par cette méthode biostatistique se sont montrés d'une telle importance pour la connaissance des temps quaternaires que les analyses polliniques ont fait l'objet de recherches de plus en plus nombreuses et que les publications s'y rapportant dépassent sans doute maintenant le millier.

C'est encore un suédois, G. Erdtman, qui contribua pour beaucoup, depuis une trentaine d'années, à la diffusion de la méthode, par ses efforts pour l'amélioration des techniques, la détermination des pollens, la publication de la bibliographie très vaste et très dispersée.

Les praticiens de cette science nouvelle des pollens, qui a reçu récemment le nom de *Palynologie*, sont des botanistes, moins souvent des géologues ; aussi est-ce généralement du point de vue du développement des flores et de la stratigraphie du Quaternaire qu'ont été faites les recherches. Mais la collaboration entre palynologistes et préhistoriens s'est montrée très féconde chaque fois qu'elle a pu être réalisée. Aussi traiterons-nous ici spécialement de la méthode d'analyse pollinique, de l'interprétation de ses résultats et de ses applications en préhistoire.

La Méthode d'Analyse Pollinique

1° *PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS.* — Quelle que soit la méthode de prélèvement utilisée, il importe de faire celui-ci avec le maximum de propreté, afin d'éviter l'apport de pollens actuels ou provenant d'autres niveaux. Si les échantillons sont pris sur la tranche d'une exploitation ou d'un fossé, la surface doit être décapée et le sédiment ainsi mis à nu prélevé avec un instrument parfaitement nettoyé. En l'absence d'excavation, on pratique des sondages. La sonde de Hiller, de fabrication suédoise, est la plus utilisée ; elle permet de prélever des cylindres de sédiments fins ou tourbeux avec le minimum de dérangement des couches, sur une hauteur de 32 ou 50 cm. selon les modèles ; l'opération peut être renouvelée à des profondeurs croissantes, grâce à des allonges. Un nettoyage minutieux est nécessaire après chaque opération.

Il est recommandé de prendre les échantillons à des niveaux rapprochés de 10 cm., ou même moins, afin de pouvoir, le cas échéant, serrer de plus près de brusques variations des proportions polliniques. Un à quelques cm^3 de sédiment suffisent ; on les prélève avec une pince ou une spatule bien propre et on les introduit dans un tube en notant soigneusement la profondeur. Si des organes végétaux, bois, graines, mousses ou autres, sont rencontrés, il est utile de les recueillir, car ils peuvent fournir des indications précieuses sur les anciennes conditions de milieu, comme on en verra plus loin des exemples. On les immerge aussitôt que possible dans un liquide conservateur, de préférence un mélange à parties égales d'eau, de glycérine et d'alcool éthylique.

Quand la coupe présente des documents archéologiques, ossements, objets, traces de foyer, un échantillon doit être prélevé immédiatement au dessous de ceux-ci et à leur contact ; lorsque ces vestiges présentent des excavations, des anfractuosités, voire de simples rugosités, il est préférable de recueillir par un grattage le sédiment qui s'y est encastré ; en effet, un objet pesant, tombant sur un sédiment peu résistant, s'y enfonce et se trouve ainsi au niveau de couches plus anciennes, mais il a entraîné dans des anfractuosités de sa face inférieure un peu du matériel de la surface du moment.

Aussi ne faut-il pas nettoyer les haches, les poteries ou les ossements dès leur découverte, comme on le fait trop souvent.

2° *TRAITEMENT DES ECHANTILLONS.* — Pour connaître la composition pollinique moyenne des échantillons prélevés, il importe de les homogénéiser préalablement par un malaxage s'ils sont frais, une pulvérisation au tamis s'ils sont secs. C'est seulement alors qu'on en pré-

lève une partie pour le traitement. Ce dernier diffère selon que le dépôt est essentiellement organique ou minéral.

a) *Traitement des échantillons organiques par les alcalis* : c'est la méthode la plus rapide et la plus pratique, généralement très suffisante. On porte l'échantillon à l'ébullition pendant une dizaine de minutes dans une coupelle renfermant une solution de soude ou de potasse à 10 %. La fraction humifiée de la matière organique est dissoute et les fragments de structure conservée sont dégagés. La suspension ainsi obtenue est d'un brun plus ou moins foncé qui peut gêner beaucoup l'observation au microscope ; dans ce cas, on élimine la suspension humique par centrifugations et décantations successives. Le montage des préparations est fait de préférence dans la glycérine. Des préparations permanentes peuvent être aisément réalisées en gélatine glycérinée.

b) *Traitement des échantillons organiques par chloration-acétolyse* : cette méthode, mise au point par G. Erdtman (1936 a et b) [1] permet une concentration des pollens par destruction de la plus grande partie des membranes des autres tissus préservés. Elle permet ainsi d'établir des pourcentages polliniques significatifs dans des sédiments très pauvres en pollens, tels que des tourbes très humifiées de bas marais eutrophes, des tourbes à sphaignes non décomposées, des dépôts d'âge glaciaire.

L'opération a lieu en deux temps :

1° Oxydation des lignines et acides humiques par *chloration* : on verse 5 cm³ d'acide acétique pur sur l'échantillon réduit en poudre ; puis 4 ou 5 gouttes d'une solution concentrée de chlorate de soude, puis environ 0, 5 cm³ d'acide chlorhydrique concentré. Le dégagement de chlore naissant oxyde et décolore l'échantillon en moins d'une minute. On élimine alors le mélange par centrifugations et décantations, puis on lui substitue de l'acide acétique pur.

2° Hydrolyse des celluloses et hémicelluloses par *acétolyse* : on prépare un mélange de neuf parties d'anhydride acétique pur et une partie d'acide sulfurique concentré, en versant avec précaution ce dernier dans le premier, par suite du caractère très exothermique du mélange. On en verse environ 5 cm³ dans le tube renfermant l'échantillon traité, et on le porte au bain-marie vers 70°. On chauffe jusqu'à ce que se produise un début d'ébullition, en agitant de temps à autre. La solution, qui a pris une teinte brune, est éliminée par centrifugations et lavages à l'eau distillée. Le matériel peut alors être monté comme précédemment.

c) *Traitements mécaniques des échantillons minéraux* : Zetzsche (1932) préconise la séparation des particules minérales et organiques en utilisant la différence de vitesse de sédimentation dans du tétrachlorure de carbone ou une solution de chlorure de calcium ; on obtient ainsi à la

1. Les dates données entre parenthèses à la suite des noms d'auteurs renvoient aux indications bibliographiques des p. 317-319.

surface du dépôt une concentration des pollens en mélange avec les particules minérales les plus fines. Mc Culloch (1937) emploie une méthode voisine avec la tourbe, en agitant très énergiquement celle-ci dans l'eau pendant 10 à 30 minutes pour isoler les pollens des autres organes, puis en centrifugeant pendant une demi-heure à 3600 tours-minute. La surface du dépôt est seule prélevée. Pour le matériel sableux, il utilise, après agitation, un filtre de tissu retenant les grains de sable et laissant passer les pollens et les éléments minéraux fins.

d) *Traitements chimiques des sédiments minéraux* : 1° dans le cas de sédiments riches en calcaire, on élimine celui-ci par l'acide nitrique dilué ; 2° si la fraction minérale est essentiellement siliceuse, on peut éliminer les particules les plus grossières par sédimentation ; puis la partie décantée est versée dans un creuset de cuivre renfermant de l'acide fluorhydrique et chauffée jusqu'à ce que commence l'ébullition. On élimine la plus grande partie de l'acide par centrifugations et décantations ; on le remplace par de l'acide chlorhydrique, qu'on élimine de la même façon, puis on lave à l'eau distillée ; 3° la vivianite est traitée par l'acide chlorhydrique seulement si elle est assez pure, par l'acide fluorhydrique, comme ci-dessus, si elle est mélangée fortement de silice.

Dans tous ces procédés, on peut opérer une concentration ultérieure du pollen par la méthode de chloration-acétolyse.

3° *IDENTIFICATION DES POLLENS.* — Un grossissement de 400 diamètres environ, allié à un champ aussi large que possible, constituent les conditions optima pour l'exploration des préparations. Des figures et des microphotos de pollens actuels et fossiles ont été publiées ; citons l'atlas de Meinke (1927) et les traités de Wodehouse (1935) et de G. Erdtman (1943) pour le nombre élevé des espèces figurées. Une série de petites monographies sont publiées par G. Erdtman depuis 1927 dans *Geologiska Föreningens i. Stockholm Förhandligar.* On trouve par ailleurs, dans de nombreux articles, des études sur les pollens d'un genre ou d'une famille, dont la bibliographie figure dans le traité de G. Erdtman, « *An introduction to Pollen Analysis* », pour les publications antérieures à 1943. Enfin, il est parfois nécessaire d'établir des comparaisons avec des pollens actuels, traités par un alcali ou par chloration-acétolyse, et montés en préparations.

La détermination générique des pollens d'arbres n'offre pas de difficultés en Europe et en Amérique du Nord. Il en va différemment pour les espèces d'un même genre, dont la détermination serait cependant fort utile, comme les pins, les chênes, les aulnes ou, en Amérique du Nord, les sapins et les épicéas. On a souvent tenté de se servir des dimensions des grains, mais ce sont là valeurs fluctuantes, qu'on ne peut apprécier que statistiquement sur de nombreux exemplaires ; d'autre part, au moins en ce qui concerne les pins, de nombreuses tentatives conduisant finalement à admettre qu'il existe des variations de taille selon les races

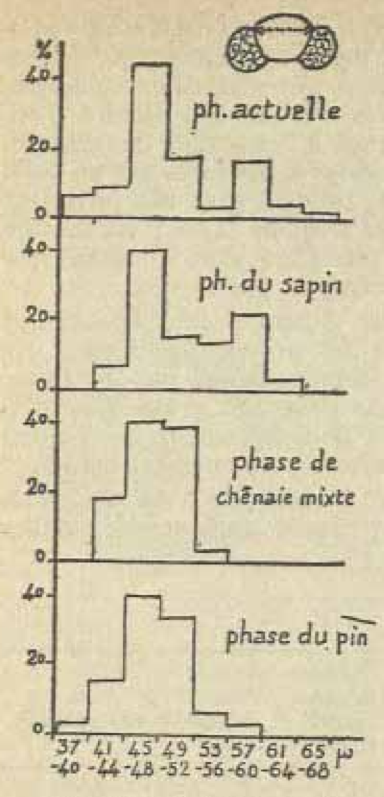


Fig. 28. — *Répartition des dimensions du pollen de pin (largeur maximum du corps, entre les deux ballonnets) au cours des phases forestières successives de la Haute Roya (cirque de l'Enfer, v. 2.100 m.; voir G. Lemée, 1950).*

géographiques ou les conditions stationnelles. Ce que l'on peut avancer toutefois, c'est que lorsque des polygones de fréquence des dimensions des grains présentent plusieurs sommets, il y a mélange d'autant de races ou d'espèces ; un tel exemple en est donné, fig. 28, pour les pins d'un diagramme établi dans la Haute-Roya[1]. De légères différences dans le contour du grain (*Tilia cordata* et *platyphyllos*) ou dans la structure fine del'exine (*Pinus sylvestris, montana* et *Cembra* (Hörmann, 1929) apportent des indications plus sûres, mais souvent difficiles à apprécier.

Les pollens d'arbrisseaux et de plantes herbacées susceptibles d'être rencontrés dans les sédiments quaternaires sont très nombreux. Citons, comme particulièrement fréquents, les tétrades polliniques des *Ericacées, Vacciniées* et *Empetrum*[2], les grains des Graminées dont on peut distinguer les céréales des espèces de prairies par la taille (F. Firbas, 1947), les plantains (I. Müller, 1947), les armoises (W. Lüdi, 1949), le lierre, le houx, *Hippophaē rhamnoïdes*, les Chénopodiacées, qui ont un intérêt paléoclimatique ou préhistorique particulier.

Une autre limitation aux données de l'analyse pollinique consiste dans la destruction d'un certain nombre de pollens, comme ceux du mélèze, de l'if, des joncs[3].

1. G. Lemée, « Contribution à la connaissance de l'évolution forestière postglaciaire des Alpes méridionales. Analyses polliniques dans la Haute-Roya » (*C. R. Soc. Biogéogr.*, 1950, n° 234, pp. 57-61).

2. F. Overbeck und H Schmitz, 1931 : *Zur Geschichte der Moore, Marschen und Wälder Nordwestdeutschlands.* I. Das Gebiet von Niederweser bis zur unteren Ems (*Prov. - Stelle Naturdenkmalpflege*, Hannover, 3, pp. 1-179).

3. Selon F. Firbas (1949), Erdtman et Iversen ont réussi récemment à reconnaître les pollens de peuplier et de genévrier, qu'on considérait comme non conservés.

4° *ETABLISSEMENT DES SPECTRES, DIAGRAMMES ET CARTES POLLINIQUES.* — L'établissement des proportions, en %, de pollens de différentes espèces représentées dans un échantillon constitue, selon l'expression adoptée depuis 1917 après Jessen, son *spectre pollinique.* Les pourcentages sont établis par rapport à l'ensemble des essences forestières, noisetier (et parfois saule) non compris. La forêt est en effet la formation naturelle, ou la plus proche de celle-ci, sous nos latitules ; elle est formée de groupements stables parmi lesquels il faut rechercher l'association climatique ; enfin les pollens forestiers sont généralement prédominants, bien conservés, largement disséminés par le vent.

La question se pose de savoir combien de pollens il faut dénombrer pour obtenir des pourcentages assez proches des proportions réelles. En Europe, où les types de pollens d'arbres ne dépassent pas une douzaine, on obtient une approximation très suffisante avec 150 grains. La plus grande exactitude du résultat obtenue par dénombrement de pollens plus nombreux n'est pas en rapport avec le surcroît de temps demandé [1].

Voici, en exemples, des spectres polliniques établis par nous au lac de Chalain, dans le Jura, sur des échantillons prélevés au cours de fouilles par M. Lamarre :

	Niveau archéol. inférieur (Néolithique)			*Niveau archéol. supér. (Bronze)*	*Tourbe superficielle*		
	base	milieu	sommet		base	milieu	sommet
Pollens forestiers :							
Aulne	—	—	—	—	15	5	20
Bouleau	—	—	—	—	2	—	—
Chêne	80	71	38	26	16	40	27
Epicéa	—	—	—	—	—	6	9
Hêtre	5	3	10	6	32	17	8
Orme	5	1	17	2	—	—	—
Pin	5	1	—	7	—	14	24
Sapin	—	4	9	54	34	18	12
Tilleul..........	5	20	26	5	2	—	—
Pollens non forestiers :							
Noisetier	460	164	63	5	30	5	10
Saule	—	1	2	—	—	3	—
Graminées	70	75	105	10	2	1	5
Composées	—	1	16	16	—	—	2
Varia	3	5	9	2	1	7	—
Spores de Filicales :	10	15	7	330	55	44	83

1. On trouvera une étude statistique de la question par BARKLEY (1934).

La représentation graphique de spectres polliniques peut être très suggestive pour une comparaison rapide de spectres contemporains dans différentes localités ; on figure alors sur une carte, à l'emplacement de chaque localité, un cercle découpé en autant de secteurs qu'il y a de pollens d'arbres représentés, chaque secteur occupant une portion de circonférence proportionnelle au pourcentage pollinique de chaque espèce, 100% représentant la totalité de la circonférence. Le noisetier est figuré par des arcs de cercle extérieurs. La fig. 29 donne une telle représentation graphique du niveau archéologique supérieur de Chalain.

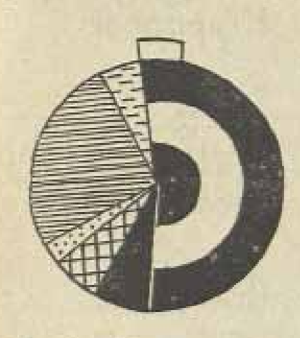


Fig. 29. — *Représentation graphique d'un spectre pollinique. A partir du haut et dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre : sapin, pin, hêtre, orme, chêne, tilleul ; l'arc de cercle extérieur indique le noisetier (360° = 100 %).*

Si l'on dispose d'un réseau assez serré de localités étudiées, on peut établir pour chaque espèce, en se servant des spectres polliniques sensiblement contemporains, des cartes de fréquence pour l'époque envisagée ; les localités où le pollen d'une espèce donnée figure dans une même classe de fréquence, entrent dans une même zone, limitée des zones voisines par une « ligne isopollinique », selon l'expression de W. Szafer qui introduisit cette méthode. On trouvera des exemples de cartes établies de cette façon pour l'extension postglaciaire de l'épicéa et du hêtre en Pologne (W. Szafer, 1935), le retrait postglaciaire du pin en Europe centrale (F. Firbas, 1939), les variations de diverses essences en Hollande et dans le Nord-Ouest de l'Allemagne (V. Nilsson, 1948), etc.

L'établissement de spectres polliniques à différents niveaux d'un dépôt permet de déceler les variations des proportions polliniques au cours de son édification. Leur représentation sous la forme graphique constitue un *diagramme pollinique*, sur lequel les profondeurs sont portées verticalement et les pourcentages horizontalement. On a utilisé plusieurs procédés de construction des diagrammes ; le plus fréquemment employé consiste à figurer chaque espèce par un symbole (fig. 30) au point correspondant à son pourcentage à chaque niveau, et à réunir ces points par une droite (fig. 32) ; les fig. 34 et 35 montrent des diagrammes construits selon d'autres procédés. Pour ne pas surcharger le diagramme, on représente habituellement sur deux graphiques juxtaposés les espèces forestières, saule et noisetier compris, et les autres espèces.

On peut aussi figurer sur les diagrammes les sommes polliniques de plusieurs espèces pour mettre en relief certains traits. L'ensemble des chênes, ormes et tilleuls, qui vivent souvent en mélange et ont une histoire semblable, montre l'existence d'une ancienne période dite de la « *chênaie mixte* » étendue à toute l'Europe moyenne (carte : G. Lemée, 1948). On a aussi intérêt à réunir l'ensemble des pollens des espèces non arborescentes, dont la courbe globale donne des indications précieuses

sur l'état du boisement aux abords de la localité étudiée (diagramme, fig. 33).

Abies sapin	Corylus noisetier	Chênaie-mixte	Salix saule
Alnus aulne	Fagus hêtre	Quercus chêne	Hippophaë
Betula bouleau	Picea épicéa	Tilia tilleul	Calluna callune
Carpinus charme	Pinus pin	Ulmus orme	Graminées

FIG. 30. — *Symboles polliniques des principaux végétaux figurés dans les diagrammes.*

On porte aussi parfois sur les diagrammes une courbe de *fréquence pollinique*, représentant le nombre de grains de pollen observé par centimètre carré de préparation (Erdtman, 1942) ; mises à part les irrégularités dans le montage des préparations, cette valeur dépend autant de la vitesse d'accumulation du sédiment et du degré de décomposition des matières organiques que de la densité des arbres [1].

Indications de l'Analyse Pollinique en Préhistoire.

Parmi les méthodes d'investigation stratigraphique et paléogéographique des temps quaternaires, l'analyse pollinique s'est révélée l'une des plus fructueuses. Elle permet non seulement une reconstruction précise des successions forestières, mais elle fournit un moyen de datation

1. Voir L. AARIO, 1932, « Pflanzentopographische und paläogeographische Mooruntersuchungen in N. Satakunta » (*Comm. Inst. Forest. Fenn.*, 17, p. 1) et G. ERDTMAN, *An Introduction to pollen analysis*, 1943, pp. 199 et suiv.

de sédiments, de fossiles, de niveaux archéologiques, de variations du niveau marin, et elle apporte des indications sur les conditions écologiques des « milieux » quaternaires. De ces divers points de vue, les analyses polliniques peuvent apporter une précieuse collaboration aux préhistoriens.

Datation des gisements préhistoriques et corrélation avec les phases forestières.

Lorsque des stations préhistoriques bien caractérisées archéologiquement sont dans des formations pollinifères, on peut établir par l'analyse pollinique leur synchronisation avec les phases de l'évolution forestière, ce qui permet, réciproquement, d'attribuer ensuite à une période préhistorique précise des vestiges insuffisamment caractérisés. On peut en outre assurer ainsi une datation au moins relative des stations ; on a même pu établir, dans des territoires qui ont été soumis à un climat périglaciaire, une chronologie absolue des phases forestières, grâce à l'existence de « varves » pollinifères.

Cette méthode est basée sur le fait que les modifications climatériques, qui se sont exercées simultanément sur de grandes parties du Globe, ont provoqué des modifications synchroniques de la végétation. Ces modifications ont été identiques dans les territoires jouissant du même climat et possédant le même matériel floral ; elles ont été seulement équivalentes, analogues, dans le cas contraire, où il a fallu établir un « parallélisme régional » de l'évolution forestière.

Par exemple, différents essais de reconstitution de la végétation européenne au moment de l'extension maximum des glaciers würmiens, comme ceux de F. Firbas (1939, 1949) pour l'Europe centrale et de Gritschuk (1946) pour la Russie d'Europe, reconnaissent : 1° une zone de steppe-toundra sans arbres ; 2° une zone de forêt claire subarctique à bouleaux dominants au Nord, pins dominants au Sud, épicéas à l'Est, sans espèces thermophiles ; 3° une zone franchement forestière où survivaient les essences tempérées, au voisinage de la Méditerranée ; 4° une zone steppique continentale dans le Sud-Est de l'Europe (carte, fig. 31). Firbas (1935) a montré que, au moment du retrait finiglaciaire, on passait, du Nord au Sud de l'Allemagne, d'une végétation de toundra à bouleaux à une forêt de pins ; ces milieux, de caractère subarctique au Nord, postglaciaire au Sud, étaient cependant contemporains.

Ce parallélisme entre phases forestières de régions différentes, ainsi que leur mise en corrélation avec la chronologie glaciaire, les niveaux marins et les stades de la Baltique, les périodes climatiques selon Blytt et Sernander et les cultures préhistoriques, a été souvent résumé sous forme de tableaux, comme celui que nous présentons ci-contre. On trouvera en outre dans la bibliographie se rapportant à ce chapitre une liste de travaux de synthèse sur l'évolution forestière de l'Europe, d'après les résultats des analyses polliniques, auxquels nous renvoyons le lecteur

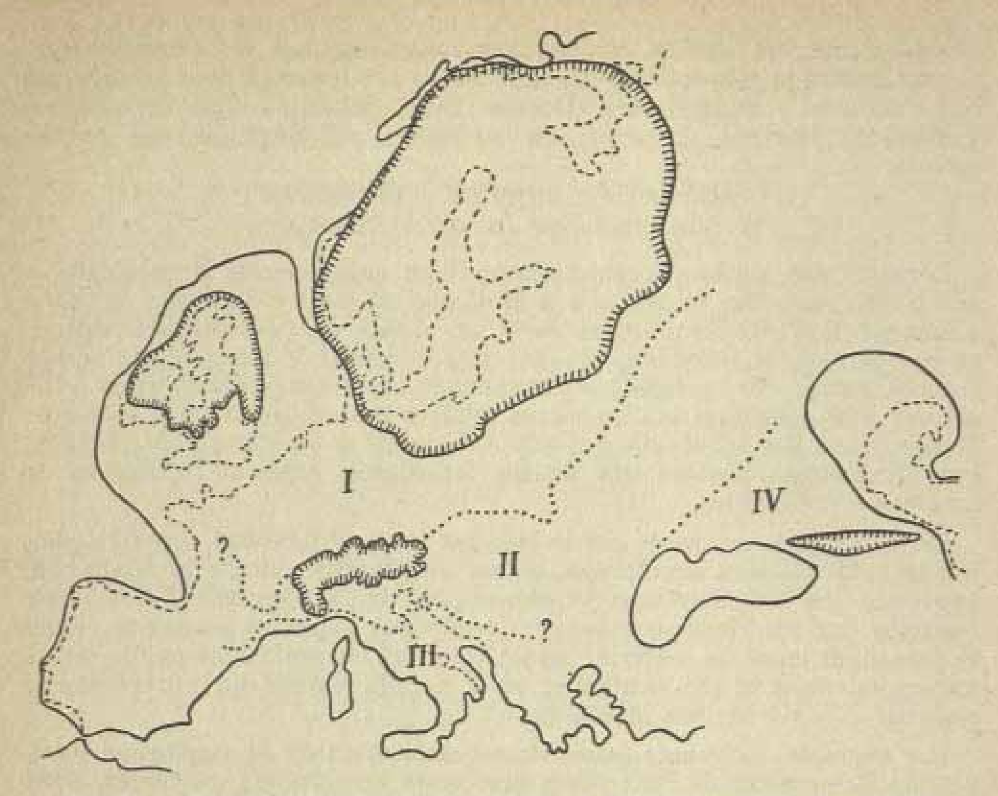


Fig. 31. — *Carte de la végétation glaciaire d'Europe : I. Zone sans arbres ; II. Zone de forêt claire de pins et bouleaux ; III. Zone de forêt dense, avec essences thermophiles ; IV. Zone des steppes continentales* (d'après Enquist, Firbas, Gritschek).

pour plus ample information. Nous nous contenterons ici d'exposer l'état de nos connaissances sur la synchronisation des cultures préhistoriques avec les phases de végétation européennes.

1° De l'*interglaciaire Saale-Brandebourg*, on possède maintenant d'assez nombreux documents polliniques, mais des corrélations claires avec les gisements du paléolithique ancien sont encore très rares. Citons le gisement moustérien des grottes de Mauern près de Landshut en Bavière, où un sol fossile contemporain a pu être daté de la fin de l'interglaciaire, marquée par la disparition des forêts de pins et d'épicéas [1].

2° Du *dernier glaciaire*, nous possédons une plus abondante documentation. C'est de la transgression ou du maximum würmien que datent l'outillage aurignacien et les restes de mammouth trouvés à Stein près

1. Schutrumpf, 1944, *Ber. über die Kieler Tagung* 1939 *der Forsch. u. Lehrgem. Ahnenerbe*, Neumünster, pp. 74-79.

Ljubliana par Budnar-Lipoglavscek [1] avec des pollens de pin de bouleau et de saule (ou d'armoise) dominants, et un peu d'épicéa : c'était un site de forêt-parc. Un diagramme de la station classique de Meiendorf près Hambourg, établi par Schütrumpf [2], montre la contemporanéité du niveau magdalénien (Hambourgien) *in situ* avec une flore à Dryas et bouleau nain daniglaciaire, de la culture de Lyngby avec une flore moins froide à bouleaux et pins, et du Mésolithique (Tardenoisien) avec le début du réchauffement définitif marqué par l'apparition du noisetier, du chêne et de l'aulne (fig. 32). En Prusse orientale Hugo Gross [3] a pu synchroniser des objets paléolithiques avec l'oscillation chaude d'Alleröd, phase à forêts de pins entre deux périodes subarctiques sans arbres, et avec l'apparition des essences feuillues marquant le début des temps postglaciaires.

3° A partir de ce moment les corrélations sont plus nombreuses. En Angleterre, une série archéologique assez complète du Fenland et des trouvailles isolées ont permis d'établir les corrélations du mésolithique jusqu'à l'occupation romaine avec les zones forestières telles qu'elles figurent sur notre tableau [4].

Au Danemark K. Jessen [5] a daté du sommet de sa zone VIII (voir le tableau de corrélation) des objets de la fin du Bronze et de la base de sa zone IX des trouvailles de l'âge du Fer. Pour les plaines du Nord-Ouest de l'Allemagne et de Hollande, T. Nilsson a réuni récemment les corrélations obtenues par Overbeck et Schmitz, Schubert, Florschütz et Wassink, D. Schröder, Schütrumpf [6] : les niveaux maglemosiens du Holstein

1. Budnar-Lipoglavscek A., 1944 : (*Prirodoslovna Izv. Ljubljana*, 1, pp. 93-188)
2. Schutrumpf R., 1936 : *Paläobotanisch-pollenanalytische Untersuchungen der paläolithischen Rentierjägerfundstätte von Meiendorf bei Hamburg* (Diss. Frankfurt M.). Voir aussi : Rust A., 1937 : *Das altsteinzeitliche Rentierjägerlager Meiendorf* (Neumünster) et Gams., 1938, Quartär, 1, pp. 75-96.
3. H. Gross, 1937, *Pollenananalytische Alterbestimmung einer ostpreussischen Lyngbyhacke und das absolute Alter der Lyngbykultur* (*Mannus*, 29, pp. 109-113); 1937 b : *Der erste sichere Fund eines paläolitischen Gerats in Ostpreussen* (*id.*, 29, pp. 113-118).
4. J. Clark, H. Godwin and M. H. Clifford, 1935, « Recent excavations at Peacock's Fann, Shippea Hill, Cambridgeshire » (*Antiq. Journ.*, 15); Godwin, 1934 (*New Phytol.*, 33, pp. 278-305 et 325-358) ; 1940, (*ibid.*, 39, pp. 370-400); 1941, (*Proc. Geol. Assoc.*, 52, pp. 328-351); 1946, (*Proc. Prehist. Soc.*, n. s. 12, p.1) ; A. R. Clapham and H. Godwin, 1948, « Prehistoric trackways in the Somerset levels » (*Philos. Trans. Roy. Soc. London, B.*, vol. CCXXXIII, pp. 249-273).
5. K. Jessen, 1935 « Archaeological dating in the history of north Jutlands' vegetation », (*Acta Archaeol.*, Copenh., pp. 185-214).
6. T.Nilsson, 1948 « On the application of the Scanian post-glacial zone system to danish pollen-diagrams », *Kongelide Danske Vidensk. Selskab*, 5, 53 p. ; F. Overbeck et H. Schmitz, 1931, article cité ; E. Schubert, 1933, «Zur Geschichte der Moore, Marschen und Wälder Nordwestdeutschlands. II. Das Gebiet an der Oste und Niederelbe », *Prov. - Stelle Naturdenkmalpflege*, Hannover, 4, 148 p., 52 fig. h. t. ; F. Florschutz et E. C. Wassink, 1935, « Resultate von Untersuchungen an einigen-niederländischen Mooren » (*Rec. trav. bot. néerl.*, 32) ; D. Schroder, « Eine bronzezeitliche Wegstrecke in Nordhannover » (*Darst. aus Niedersachsens Urgeschichte*, Hildesheim, 4) ; Schutrumpf, 1938, « Die mesolithischen Kulturen von Pinnberg in Holstein und ihre Stellung im Pollendiagramm » (*Ber. Mitteil. Mus. vorgesch. Altert. Kiel*, Neumünster, 3).

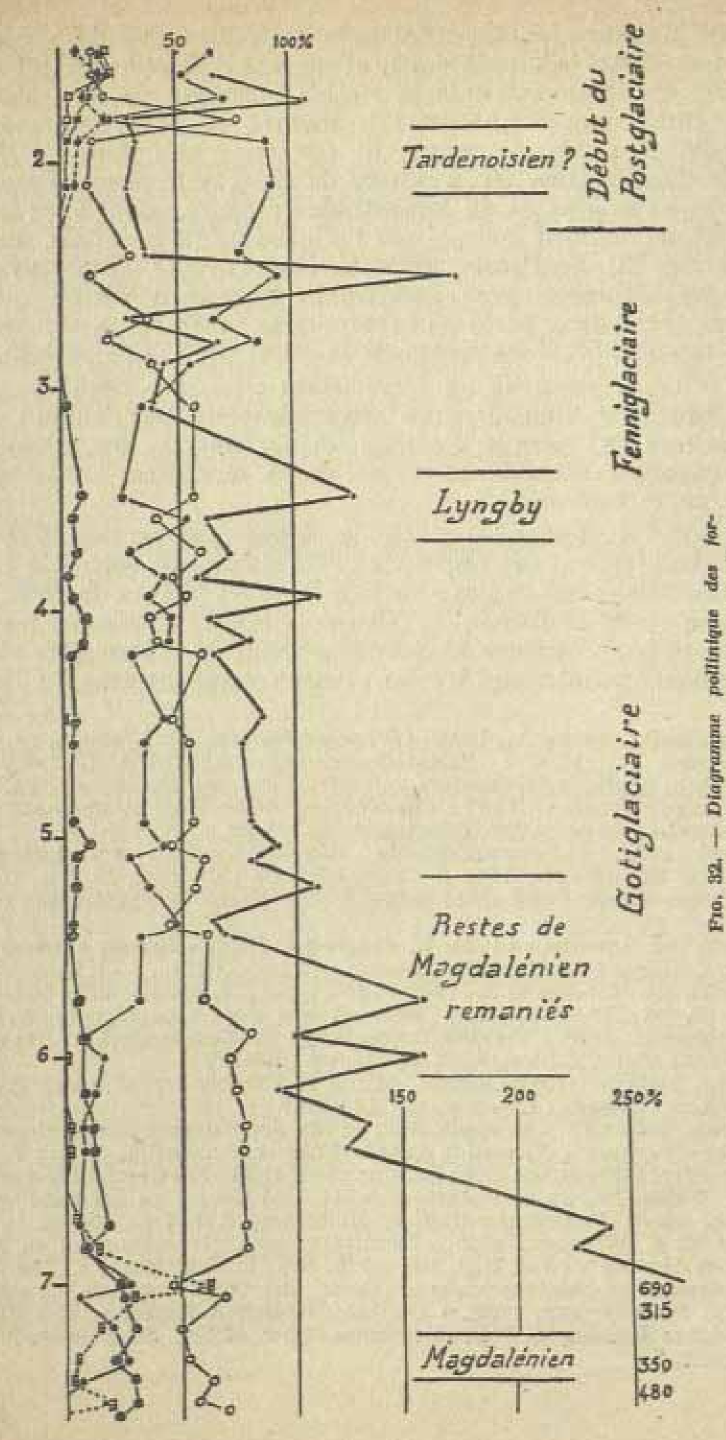


FIG. 32. — *Diagramme pollinique des formations glaciaires de Meiendorf près Hambourg* (d'après SCHUTRUMPF, simplifié). *Pour les symboles, voir fig. 30. Les points réunis par un trait épais sont les pourcentages de pollens d'espèces non arborescentes.*

sont du début du postglaciaire, le Néolithique supérieur de la limite entre les zones IV et III de Nilsson (voir tableau de corrélation), le Bronze 2 de la zone III, l'âge romain du Fer, entre 100 et 600, du sommet de la zone II.

En Souabe est la station désormais classique du lac Feder, étudiée par K. Bertsch, puis par F. Firbas [1], où des habitats ont existé de façon presque permanente du Mésolithique jusqu'à l'époque romaine (diagramme, fig. 33). Dans l'Ouest de l'Allemagne, comme au lac Feder, des objets hallstattiens ont été synchronisés avec la phase du hêtre, telle que récemment une épée à Ludwigshafen [2].

Les corrélations obtenues pour les palafittes de Suisse [3], du lac de Constance [4], du lac de Chalain dans le Jura (voir p. 156), situent le Mésolithique au moment de la poussée du noisetier, le Néolithique au cours de la chênaie mixte et au début de la phase à hêtre et sapin, les âges du Bronze et de la Tène au cours de cette dernière phase, tout comme au lac Feder.

Sur le plateau de Millevaches, dans la montagne limousine, une hache du Bronze II de Déchelette a été datée exactement du maximum d'extension du hêtre dans cette région [5].

Reconstitution du cadre végétal.

A. *Les proportions des espèces.* L'analyse pollinique permet de reconstituer dans une certaine mesure les paysages végétaux du Quaternaire ; mais transposer en fréquence réelle des espèces leurs proportions polliniques serait une grave erreur, car la production et les moyens de dissémination des pollens varient selon les espèces, et en outre le pollen d'un certain nombre d'espèces n'est pas conservé.

Des observations nombreuses ont été faites sur la production et sur la dispersion du pollen (voir G. Erdtman, 1943). Les plus intéressantes de ces observations, du point de vue auquel nous nous plaçons, sont celles qui ont été faites sur la composition des pluies polliniques, « fréquence pollinique absolue de l'air » selon Erdtman. L'établissement de ces spectres

1. K. Bertsch, 1931, « Paläobotanische Monographie des Federseerieds » (*Biblioth. Botanica*, 103, p. 127) ; F. Firbas, 1935, (*Biblioth. Botanica*, 112, 68 p.)

2. I. Muller und F. Firbas, 1949, « Die vegetationsgeschichtliche Zuordnung eines hallstattzeitlichen Fundes bei Ludwigshafen » (*Mitt. Naturk. und Naturschutz*, sept.)

3. P. Keller, 1928, « Pollenanalytische Untersuchungen an Schweizer-Mooren und ihre Florengeschichtliche Deutung »(*Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich*, 163 p.) ; H. Harri, 1940, « Stratigraphie und Waldgeschichte des Wauwilermosses » (*Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich*, 17), etc.

4. H. Reinerth, 1938, *Das Pfahldorf Sipplingen am Bodensee*, Leipzig, p. 155 ; analyse pollinique par K. Bertsch, p. 92.

5. G. Lemée, 1949, « Synchronisation entre l'Age du Bronze et les phases forestières du plateau de Millevaches » (*Bull. Soc. préhist. Fr.*, n° 3-4, pp. 68-71.)

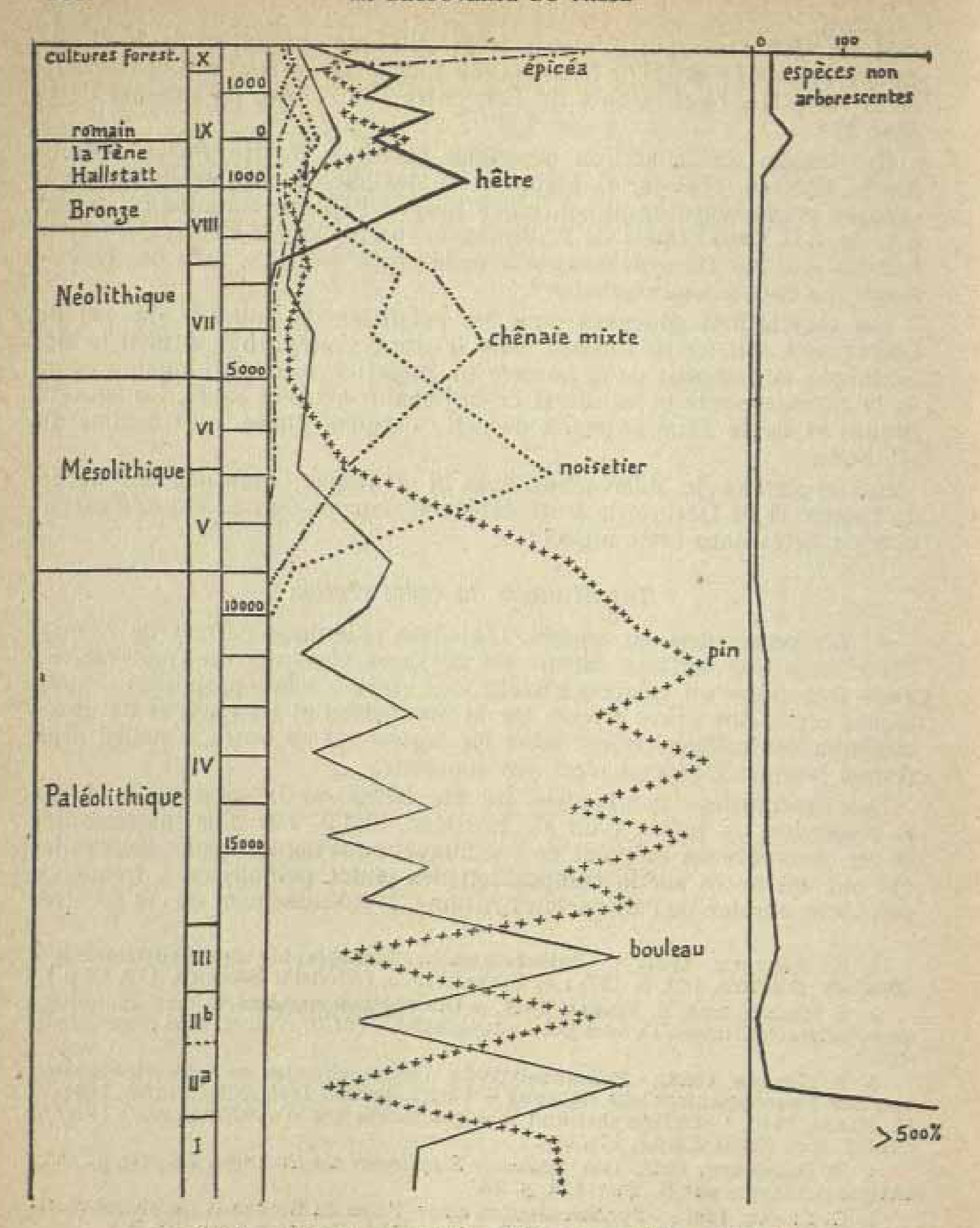


FIG. 33. — *Diagramme pollinique synthétique et corrélations préhistoriques du lac Feder, Würtemberg* (d'après BERTSCH, FIRBAS, MULLER).

polliniques actuels et leur comparaison avec la composition forestière avoisinante font ressortir les faits suivants : 1° la production pollinique diffère beaucoup d'une espèce à l'autre : les pins sont toujours surreprésentés, alors que le hêtre, le chêne, les saules sont dans la situation inverse ; ainsi, un spectre pollinique où pin et sapin sont codominants doit être traduit comme représentant une sapinière mélangée de quelques pins ; 2° la capacité de dispersion varie aussi beaucoup ; les espèces anémophiles comme la plupart des arbres, les Graminées, les plantains, disséminent leurs pollens à plus grande distance que les espèces entomophiles comme les tilleuls, les Éricacées, les Composées. Il en résulte que, sur les aires éloignées de massifs forestiers, les espèces anémophiles et grandes productrices sont polliniquement le mieux représentées ; par contre, les espèces qui occupent la surface étudiée sont généralement surreprésentées dans le spectre pollinique. La figure 34 donne un exemple de ces variations

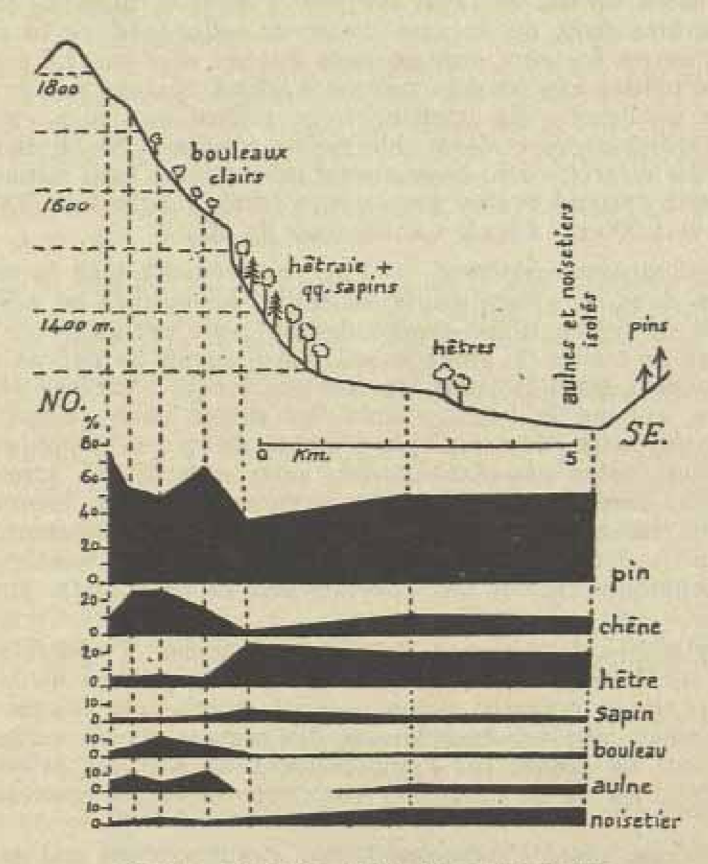


FIG. 34. — *Répartition actuelle des pollens d'arbres sur un versant des Monts Dore d'Auvergne.*

locales. Ainsi, la proportion très élevée de l'aulne dans les diagrammes de tourbières des plaines du Nord-Ouest de l'Europe à partir du Boréal est dûe à l'état d'aulnaies de ces tourbières ; les brusques poussées de bouleau observées parfois à certains niveaux des diagrammes postglaciaires sont à interpréter comme un boisement des tourbières elles-mêmes par cette essence.

Un problème difficile est celui de l'origine des pollens représentés dans les spectres par une proportion infime : s'il s'agit d'espèces anémophiles, ces pollens peuvent provenir de peuplements importants, mais très éloignés, ou bien d'individus isolés au voisinage même de la localité. Dans le premier cas, on observe une proportion pollinique décroissante depuis la région d'origine supposée.

B. Le taux de boisement. — On ne peut avoir qu'une idée très approximative, sinon fausse, de l'état forestier d'après la quantité absolue de pollens d'arbres dans un volume donné de sédiments, ce caractère dépendant d'autres facteurs, comme nous l'avons déjà vu. Le rapport des pollens des petites espèces aux pollens d'arbres apporte par contre d'intéressantes précisions. En particulier, ce critère met bien en évidence l'épisode tardiglaciaire remarquable qu'on a appelé l'oscillation chaude d'Alleröd, où la forêt, entre deux phases subarctiques sans arbres, a gagné l'Irlande et le Jutland et s'est élevée en altitude jusque vers 700 m. dans les Vosges et 1.000 m. dans le Cantal (voir fig. 32).

C. Les groupements végétaux. — Pour qui connaît bien la répartition des espèces dans les groupements végétaux, formations ou associations, la présence de pollen d'une espèce donnée peut permettre de conclure à l'existence de tel ou tel groupement. Ainsi, parmi les pollens conservés dans les couches tardiglaciaires, on observe, à côté d'espèces de toundra subarctique, comme le bouleau nain, les saules nains, *Empetrum*, des spores de *Selaginella selaginoides*, la présence de formes steppiques comme *Helianthemum*, assez abondant parfois pour caractériser un épisode [1], et *Artemisia*, encore qu'il existe des armoises boréales, comme le fait prudemment remarquer Erdtman. Il faut donc se représenter la végétation en Europe centrale au Magdalénien comme une mosaïque de formations steppiques froides aux endroits secs et de toundra sur les sols mal drainés.

Au postglaciaire, la présence d'espèces messicoles et rudérales évoque l'existence de surfaces cultivées. L'abondance de pollens de la bruyère commune (*Calluna vulgaris*) qu'on observe depuis une époque plus ou moins ancienne dans les diagrammes des régions à sols acides, décèle l'établissement de landes sur l'emplacement de surfaces primitivement boisées. Ainsi, les vastes landes d'Angleterre orientale connues sous le

1. M. Welten, 1944, « Pollenanalytische, stratigraphische und geochronologische Untersuchungen aus dem Faulenseemoos bei Spiez » (*Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich*, 21, p. 201).

nom de « Breckland » ont succédé à des chênaies à l'époque néolithique [1] ; dans la montagne limousine, l'extension des callunaies est postérieure au Bronze et non primitive, comme on l'a parfois écrit.

Indications paléoclimatiques de l'analyse pollinique.

La composition du tapis végétal et ses modifications ne sont pas sous la seule dépendance des facteurs climatiques, mais dépendent aussi de facteurs d'immigration, de sol, de compétition entre espèces et d'interventions humaines. Aussi la reconstitution des vicissitudes climatiques au Quaternaire à l'aide des documents floristiques et faunistiques demande-t-elle une connaissance approfondie du comportement écologique des espèces.

A. *Facteurs d'immigration.* — Après le retrait général de la flore devant la glaciation, la reconquête vers le Nord au cours du réchauffement s'est produite avec un retard plus ou moins grand selon les moyens de dissémination des espèces. Ainsi la reconstitution de l'étage subalpin de l'épicéa depuis les Carpathes et les Alpes orientales jusqu'au Jura, aux Alpes méridionales et à l'Apennin a demandé une grande partie du postglaciaire. Le hêtre et le charme sont d'apparition récente, protohistorique, dans le Nord-Ouest de la France et l'Angleterre, et n'ont pas encore occupé toute l'aire que leur offre le climat actuel.

B. *Facteurs édaphiques.* — La nature de la roche exerce un tri parmi les espèces sensibles aux conditions de sol. Ainsi la persistance du pin silvestre en Poméranie pendant le postglaciaire est dûe, selon Hesmer [2], au manteau d'alluvions glaciaires pauvres qui la couvre, les régions voisines à sol riche présentant la succession typique chênaie mixte-hêtraie.

C. *Facteurs d'interaction entre végétaux.* — Au cours des périodes subarctiques sans arbres, la compétition était faible ; l'abondance fréquente au tardiglaciaire d'*Hippophaë rhamnoides*, arbrisseau aujourd'hui localisé aux stations ouvertes comme les dunes et les bancs d'alluvions des cours d'eau, s'explique par l'absence de végétation forestière et non par une particularité du climat, selon K. Faegri [3], qui qualifie cette espèce d' « aclimatique ». Les facteurs de compétition ont pris de l'importance avec le nombre croissant les espèces arborescentes en présence.

1. H. Godwin, 1944, « Age and origin of the « Breckland » heaths of East Anglia » (*Nature*, 153 , pp. 6-10).

2. H. Hesmer, 1933, « Die Natürliche Bestockong und die Waldentwicklung auf verschiedenartigen Märkischen Standorten » (*Zeitschr. Forst. und Jagdwesen*, 65, p. 505).

3. K. Faegri, 1943, « Quartärgeologische Untersuchungen im westlichen Norwegen » (*Bergens Mus. Aarb.*, n° 7-8.)

L'élimination des chênaies de l'optimum climatique par les hêtraies et les sapinières dans les basses montagnes d'Europe et sur les rivages baltes a certainement été facilitée par les avantages de ces dernières dans la compétition.

D. *Facteurs climatiques.* — Malgré les faits que nous venons de citer, il faut bien admettre que, tant que l'intervention humaine sur la végétation a été très discrète, les facteurs climatiques ont joué le rôle essentiel dans la distribution des flores quaternaires [1]. Des phénomènes comme l'extension brusque et simultanée sur une grande partie de l'Europe des pineraies, puis du noisetier, de la chênaie mixte, et enfin du hêtre et du sapin, ne peuvent s'expliquer que par une modification climatique favorable. Il se trouve que cette succession est dans un sens favorable au jeu de la compétition, ce qui explique le caractère parfois soudain des transformations forestières.

Plusieurs auteurs ont mis en relief la similitude des zones de végétation actuelles du Nord de l'Europe et des zones à l'époque glaciaire en Europe centrale, en concluant à un parallélisme climatique.

Pour le postglaciaire, L. von Post (1946) a établi trois grandes divisions climatiques, dont il a montré l'existence sur toute la Terre : 1° une *phase de réchauffement* marquée en Europe par l'extension des forêts de pins et l'extension remarquable du noisetier ; 2° un *optimum climatique* où régnait la chênaie mixte, puis, en montagne, le hêtre et le sapin, couvrant les périodes boréale, atlantique et subboréale de Blytt et Sernander ; 3° une phase de « *dégradation climatique* », marquée par une extension du hêtre et du charme dans les plaines du Nord de l'Europe.

Les caractères climatiques exacts de cet optimum restent incertains. En admettant seulement une élévation de la moyenne thermique, c'est à 2 ou 3° au dessus de la moyenne actuelle qu'il faut fixer celle-ci. Mais une continentalité plus grande, avec des étés plus chauds, une humidité et un enneigement plus faibles, peut provoquer sur les espèces plus sensibles à la chaleur estivale qu'au froid hivernal un effet identique. Il semble bien qu'il en ait été d'ailleurs ainsi au cours du réchauffement, où les rivages océaniques étaient repoussés vers l'Ouest et le Nord.

Une autre méthode d'étude des variations paléoclimatiques, qui utilise moins directement l'analyse pollinique, est l'observation des « *surfaces de récurrence* » de Granlund [2] dans les tourbières. Ce sont des contacts entre une tourbe inférieure très décomposée, généralement boisée, et une

1. On trouvera une discussion de l'action des facteurs climatiques dans des travaux de F. Firbas (1939-1949) pour l'Europe centrale et de G. Lemée pour le Massif Central français : G. Lemée, 1942, « Recherches sur l'évolution forestière postglaciaire en Auvergne. III. Modifications forestières et climatiques dans les Monts Dore » (*Rev. Sc. nat. d'Auv.*, 8, pp. 84-125.)

2. G. Granlund, 1932, « De Svenska Hogmossarnas Geologi » (*Sverig. Geol. Unders.*, 26).

Tableau de corrélations géologiques, archéologiques et paléobotaniques en Europe.

Chronol. absolue	Glacier scandinave	Glacier alpin	Stades de la Baltique	Périodes climatiques (Blytt-Sernander)	Cultures préhistoriques	Scanie - Danemark (Nilsson)		(Jessen)	Allemagne N.-O. (Overbeck)		Angleterre (Godwin)		Irlande (Jessen)	Bassin parisien Normandie (Dubois-Lemée)	Vosges Massif Central (Dubois-Lemée)	Allemagne Sud (Firbas)	(Muller)	Environs de Moscou (Dokturowsky Gerassimow)
			mer à Mya		historique	I	extension hêtre et charme	IX	XI	extension hêtre et charme	VIII	chêne - aulne - bouleau appar. hêtre	VII	extent. résineux appar. hêtre charme	extent. résineux chêne - hêtre - sapin	pin - épicéa	X 13	épicéa bouleau - pin
0			lac à Limnaea	Subatlantique	.... Fer	II						transition	VI			hêtre - chêne	12 IX 11	pin
-2000				Subboréal	.... Bronze	III	grenzhorizont RY III	VIII	X	RY III apparition du hêtre			V'	aulne - chêne	hêtre sapin	max. hêtre hêtre- chênaie mixte	VIII 10	extension épicéa déclin ch. mixte
					Néolithique	IV	déclin de l'orme											
-4000			mer à Littorina	Atlantique	....	V VI	chênaie mixte	VII	IX VIII	raréf. orme et tilleul chênaie mixte noisetier	VII	aulne - chênaie mixte		chênaie mixte- aulne	chênaie mixte- noisetier	chênaie mixte- noisetier	VII 9	max. ch. mixte aulne-noisetier déb' ext. épicéa bouleau
-6000					Mésolithique								V'			noisetier chainée mixte	VI 8	pin - bouleau
						VII	noisetier ch. mixte	VI	VII	ext. ch. mixte et aulne	VI	pin - noisetier (début ch. mixte)		pin- noisetier	max. noiset (appar. ch.mixte)	pin (début noiset.)	V	
			lac à Ancylus	Boréal		VIII	pin - noisetier	V	VI	pin - noisetier	V	pin (début noisetier)	V'	pin	pin		7	
-8000	Finiglaciaire	Daun		Préboréal	.... Lyngby	IX	pin - bouleau	IV	V	pin - bouleau	IV	pin-bouleau	IV	bouleau- pin	bouleau	pin-bouleau pin	6 IV 5	pin - bouleau
		Gschnitz	mer à Yoldia	Subarctique	Magdalénien	X	Flore à Dryas sup.	III	IV	bouleau	III	toundra sup.	III		toundra sup.	toundra sup.	III 4	
	Gotiglaciaire	Lunz Bühl		.... Alleröd		XI	pin - bouleau	II	III	pin - bouleau	II	pin - bouleau	II		pin-boul.	pin	II' 3	1er max. épicéa
		WürmIII			....	XII	Flore à Dryas inf.	I	II I	toundra à bouleaux toundra sans arbres	I	toundra inf.	I		toundra inf.	bouleau toundra inf.	II' 2 I 1	toundra
	Daniglaciaire		glaces	Arctique	Solutréen Aurignacien	...	....	...	...	....	...	....	...		....	....	....	
		Würm II			....													
	intervalle Warthe-Brandebourg		ancienne mer à Portlandia -Yoldia		Moustérien		bouleau - pin ch.-mixte noisetier bouleau - pin					pin - bouleau aulne-chênaie mix. noisetier-pin-épicéa ?						
	Warthe	Würm I			.... Acheuléen		flore à Dryas											
	Interglac. Saale-Warthe						bouleau aulne-charme chênaie mixte											

tourbe supérieure à Sphaignes non humifiées ou à végétation aquatique. On explique ces contacts par une augmentation d'humidité atmosphérique qui aurait provoqué la reprise de l'édification de tourbe à la surface d'une tourbière morte. A. Ording, puis H. Godwin[1] constatèrent des modifications polliniques toujours semblables au niveau de ces surfaces, consistant en une régression d'espèces continentales comme le pin et en une augmentation d'espèces à préférences océaniques comme le bouleau et le chêne. Granlund a reconnu cinq surfaces de récurrence en Suède méridionale : Ry I vers + 1.200, Ry II vers + 400, Ry III vers – 600, Ry IV vers – 1.200, Ry V vers - 2.300. Plus récemment, Nilsson (1935) en décela une dizaine entre -3.500 et nos jours. La plus constante et la plus nette est Ry III, qui correspond au « *grenz-horizont* » décrit par Weber dans le Nord-Ouest de l'Allemagne et se situe au passage de l'âge du Bronze à celui du Fer. Nul doute que dans une grande partie de l'Europe ces périodes de recrudescence de l'humidité, alliées peut-être à des refroidissements, n'aient joué un rôle important dans les conditions de vie de nos ancêtres (voir à ce sujet H. Godwin, 1946).

L'Analyse pollinique indicatrice d'habitats humains.

En l'absence de vestiges d'habitats humains, on peut cependant déceler l'intervention de l'homme par l'étude des pollens fossiles. Cette intervention s'est marquée de plus en plus nettement et sous des formes variées : 1° par la multiplication des pollens d'espèces herbacées, de la bruyère dans les régions à sols pauvres, indiquant les déboisements intensifs ; 2° par l'apparition ou la multiplication, à partir d'une époque récente, d'essences de reboisement, comme les pins et l'épicéa ; 3° par la présence de pollens d'espèces cultivées, céréales, noyer, châtaignier ; 4° par la présence de pollens d'espèces commensales de l'homme et de ses cultures, comme l'armoise, les plantains, les rumex, les Chénopodiacées, les Composées. Quant aux modifications dans les proportions des essences forestières ou dans leur fréquence pollinique absolue, elles sont d'interprétation plus délicate.

C'est J. Iversen, qui, en 1941[1], utilisa le premier de tels critères pour déceler une occupation agricole du sol par les néolithiques au Danemark. Ses conclusions très séduisantes ont été adoptées d'emblée par plusieurs auteurs. Mais il semble qu'Iversen ait voulu accumuler les preuves en faveur de sa méthode, et il s'en faut qu'elles soient toutes également convaincantes ; nous renvoyons à une publication de Nilsson (1948) pour la critique de son argumentation. Il n'en reste pas moins que l'apparition

1. Voir l'étude de ORDING dans L. VON POST, 1946, « The prospect for pollenanalysis in the study of the Earth's climatic History » (*New Phytol.*, 45, pp. 193-218), et GODWIN, 1948.

2. J. IVERSEN, 1941, « Land occupation in Denmark's Stone Age », *Denm. Geol. Unders.*, 2, n° 66. id., 1947, « Centaurea Cyanus pollen in danish late-glacial deposits », *Medd. dansk. Geol. Fören*, 11, p. 197.

simultanée des pollens de céréales, de plantain et de rumex, la multiplication de ceux d'armoise et de Graminées de prairies, à la limite des zones IV et V de Nilsson, qui marque l'apparition des Mégalithiques, constituent des preuves de l'introduction avec eux d'une agriculture active (voir le diagramme, fig. 35, I). Plus récemment, Iversen décela le pollen du bluet (*Centaurea Cyanus*), espèce messicole, dès la fin du Glaciaire au Danemark.

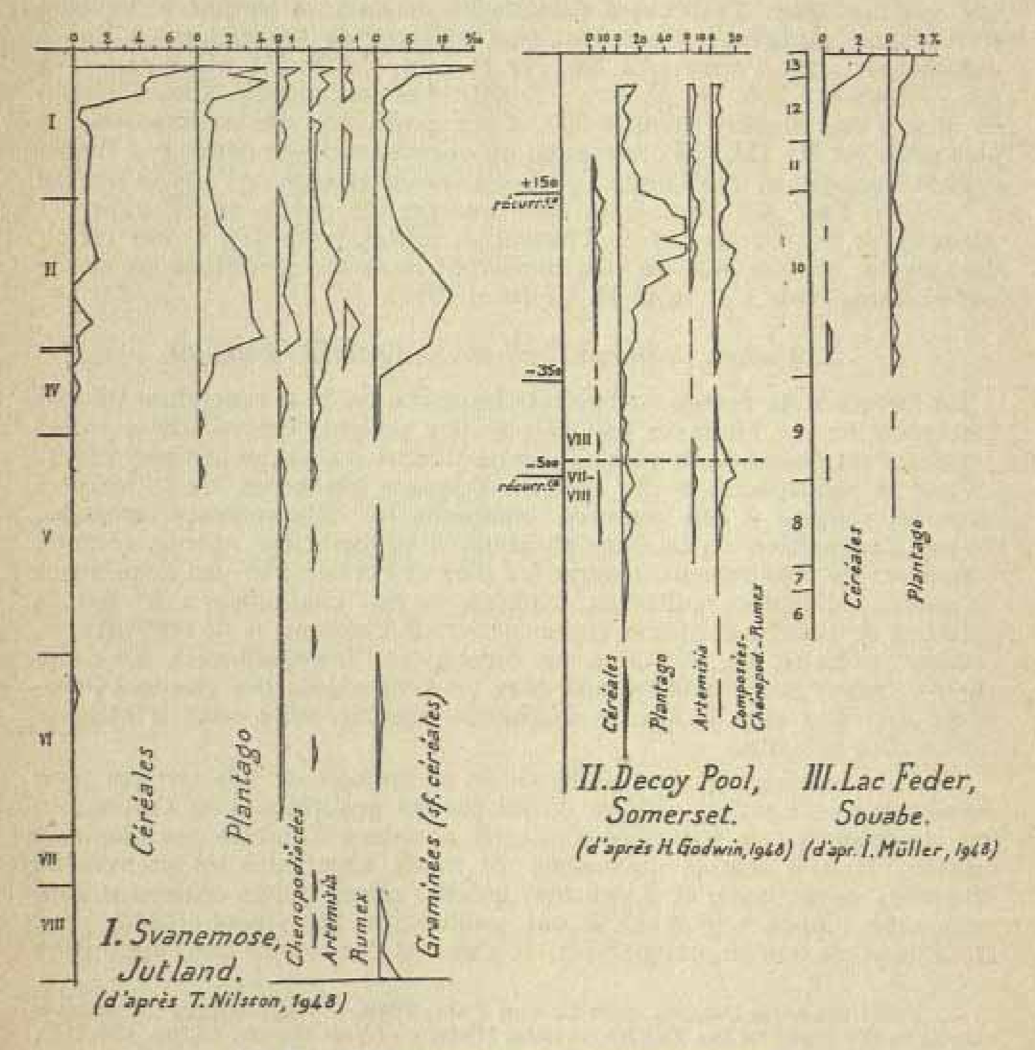


FIG. 35. — *Diagrammes polliniques d'espèces herbacées indicatrices d'établissements humains* (les chiffres romains indiquent les phases forestières ; se reporter à notre tableau de corrélations géologiques, archéologiques et paléobotaniques en Europe page 168 bis).

En Angleterre, H. Godwin (1944, 1948) a mis en évidence deux périodes d'agriculture active, l'une du Bronze moyen et supérieur, l'autre de la fin de l'âge du Fer et de l'occupation romaine (diagramme II, fig. 35). Mais ici également, dès la fin du Glaciaire, les pollens de rumex et de Chénopodiacées existaient au moins en Cornouailles (H. Godwin, 1950).

I. Müller, dans un travail sur les lacs Feder et de Constance (1947), prenant comme critère d'établissements humains les pollens de céréales et de plantains, en reconnaît quatre périodes : Néolithique inférieur, Néolithique supérieur (-2.500 à -2.000), fin du Bronze (-1.100 à -800), et depuis l'occupation romaine (diagramme III, fig. 35).

Au lac de Chalain dans le Jura, les niveaux d'occupation néolithique montrent la proportion la plus élevée de pollens d'herbes, atteignant 130 % de celle des arbres, avec Graminées prédominantes, Composées, armoise, plantain, Ombellifères.

L'évolution forestière au pied du versant italien des Alpes centrales suggère fortement une orientation par intervention humaine à partir de -2.000 environ, où la chênaie mixte a été remplacée par le châtaignier et l'aulne, avec noyer et *Ostrya*, en contraste complet avec l'intérieur et la bordure Nord de la chaîne où régnaient aux mêmes altitudes une hêtraie-sapinière [1].

Les Restes végétaux autres que les Pollens

L'étude des restes végétaux macroscopiques ne peut se faire, comme celle de pollens, sur des échantillons réduits de sédiments prélevés à la sonde. Si l'on dispose de fosses, de tranchées, de fronts de carrières, on peut trouver au niveau d'habitats préhistoriques des organes identifiables consistant en fragments de feuilles, bois, écorces, fruits ligneux, graines, mousses. La connaissance de ces restes présente quelques avantages sur l'analyse pollinique : elle permet généralement l'identification spécifique, exceptionnelle avec les pollens ; les organes proviennent de plantes *in situ* — sauf dans le cas de transport par l'homme — alors que le pollen est allochtone en grande partie ; des restes peuvent appartenir à des espèces dont le pollen n'est pas conservé. L'analyse pollinique a cependant l'avantage précieux de donner une image de l'ensemble de la végétation et de son évolution sur un territoire assez étendu.

Ce sont des savants scandinaves qui ont les premiers systématiquement établi l'inventaire des espèces conservées dans leurs tourbières ; citons

1. W. Ludi, 1943, « Die Waldgeschichte des Südlichen Tessin seit dem Rückzug der Gletscher » (*Ber. Geobot. Inst. Rübel Zürich*, pp. 12-71).

en particulier Blytt, Gunnar Anderson, Sernander, J. Holmboe[1]. Des travaux semblables ont été entrepris depuis lors en Europe centrale par Szafer, en Angleterre par C. et E. Reid, H. Godwin, par P. Fliche en France. Leurs résultats intéressent les archéologues par les indications ainsi fournies sur les conditions climatiques et l'existence d'établissements humains.

1. *Du point de vue climatique*, on trouve un parallélisme étroit avec les résultats des analyses polliniques :

A. Pendant les périodes glaciaires, ce sont des flores à Dryas, bouleau et saules nains, *Empetrum*, etc., retrouvées dans toute l'Europe moyenne ; l'étude faite par W. Szafer (*in* Klimaszewski et Szafer, 1945) d'un gisement de Galicie, probablement rissien, est intéressante en ce qu'elle montre un mélange d'espèces arctico-alpines et steppiques.

B. H. Godwin (1950) a trouvé en Cornouaille, intercalée entre deux couches à Dryas, une vase organique renfermant des espèces à exigences thermiques plus grandes, qu'il considère comme contemporaine de l'oscillation chaude d'Allerôd.

C. Au cours de l'optimum climatique postglaciaire, un fait important et bien connu est la plus grande extension vers le Nord d'espèces tempérées et thermophiles comme *Trapa natans, Cladium Mariscus, Naias flexilis*, le noisetier, etc.

2. *Du point de vue de l'occupation humaine*, un fait important est la constatation, en Angleterre et en Irlande, de l'existence d'espèces rudérales et messicoles comme *Linaria vulgaris, Sonchus oleraceus*, des chardons, dès le tardiglaciaire[2].

Enfin, il est possible de retirer de l'étude des Diatomées des indications sur les caractères du milieu ; ces algues, dont les frustules siliceuses sont parfaitement conservées et souvent abondantes dans les dépôts infra-aquatiques, ne sont malheureusement pas pour la plupart des indicateurs très précis des conditions d'habitat. Citons cependant les observations de Pennington dans les Highlands, montrant la multiplication des *Asterionella*, Diatomées eutrophes indicatrices de la proximité de cultures, dans la partie supérieure de vases lacustres, et celles de Ross qui ont mis en évidence l'abondance relative des Diatomées tempérées dans une vase tardiglaciaire, probablement allerodienne, de Cornouaille[3].

1. On trouvera une bibliographie de ces travaux dans J. Holmboe, 1903, « Planterester i Norske torvmyrer » (*Vidensk. Skrifter*, n° 2, p. 227, 5 pl.).

2. Ann P. Connolly, H. Godwin and E. M. Megaw, 1950, « Studies in the postglacial History of british vegetation. XI. Late-glacial deposits in Cornwall » (*Phil. Trans. Roy. Soc. London*, B., vol. CCXXXIV, pp. 397-469) ; — K. Jessen, 1949 et H. Godwin, 1949.

3. W. Pennington, 1943, « Lake sediments : the bottom deposits of the North Basin of the Windermere, with special reference to the Diatom succession » (*New Phytol.*, 42, pp. 1-27) : on trouvera l'étude de Ross dans Ann P. Connolly, H. Godwin et E. M. Megaw, 1950 (voir note précédente).

Conclusions

Nous n'avons pas prétendu exposer ici l'ensemble des faits apportés par l'étude des vestiges végétaux à la connaissance des milieux préhistoriques. La bibliographie jointe à ce chapitre permettra de documenter le lecteur sur tel point qui l'intéressera particulièrement. Mais les quelques aperçus que nous avons donnés de ces résultats suffisent, pensons-nous, à démontrer la part importante apportée par l'observation de la flore et, en particulier, des pollens. De belles synthèses sur les conditions de vie des hommes au cours des temps préhistoriques et protohistoriques ont été réalisées par la confrontation des documents apportés par la paléobotanique et diverses disciplines, archéologie, anthropologie, paléontologie, géomorphologie, pédologie. Telles sont les publications de H. L. Movius (1942) sur l'Irlande préhistorique, de Behrmann (1943) sur les plaines du Nord-Ouest de l'Allemagne, de F. Firbas (1949) sur l'Europe centrale. Mais beaucoup reste encore à faire, particulièrement en France, où la collaboration entre préhistoriens et paléobotanistes n'est pas suffisamment étroite.

Le lecteur a pu constater que les travaux cités dans ce chapitre ont trait presque uniquement à l'Europe non méditerranéenne. C'est, en effet, la seule partie du Monde pour laquelle on possède à la fois une riche documentation sur les hommes préhistoriques et sur l'évolution des flores contemporaines. En Amérique du Nord, grâce aux recherches de P. W. Bowman, J. Davis, M. P. Hansen, J. E. Potzger, P. B. Sears, et d'autres, l'évolution forestière postglaciaire commence à se dessiner, mais aucun vestige humain très ancien n'y est connu. Au contraire, dans la région méditerranéenne, en Afrique du Nord et du Sud, en Asie centrale et sud-orientale, berceaux des premiers hommes, ce sont les milieux qui sont généralement défavorables à la conservation des restes végétaux. Cependant, l'intérêt immense qu'offriraient dans ces territoires des études semblables à celles qui ont été réalisées en Europe, mérite qu'on les tente chaque fois qu'elles seront possibles. [1]

G. Lemée
Université de Strasbourg

1. Voir appendice p. 317-320.

TROISIÈME PARTIE

LE CADRE CHRONOLOGIQUE

INTRODUCTION A LA TROISIÈME PARTIE

Comme toutes les sciences historiques, la préhistoire ne peut considérer les objets de son étude que dans la perspective de leur durée. Décider de la période à laquelle appartient un objet ou un site, subdiviser cette période en autant d'étapes successives qu'il est possible d'en distinguer, et finalement attribuer une date ou une durée à chacune de ces étapes, est pour beaucoup le problème essentiel, pour quelques-uns même le problème unique, celui après lequel il n'est plus que de passer à autre chose.

Cette « catégorie de la durée »[1] exerce d'ailleurs sur le profane même une curieuse attraction. Tous ceux qui ont fait visiter des chantiers de fouilles ou des salles de musée à des amateurs connaissent les éternelles questions relatives à l'âge des objets ou des sites, le désappointement provoqué par un aveu d'ignorance, l'intérêt ému que soulève toute précision chronologique. L'attrait exercé par la date ou par l'âge se retrouve chez les plus simples, ou les plus jeunes, des visiteurs, alors même que toute autre espèce d'intérêt semble leur échapper complètement, témoins ces bribes de conversation entendues il y a quelques mois dans un petit hôtel de Cabrerets. Quelques jeunes gens, des environs sans doute, y discutaient de la curiosité du pays, la grotte du Pech-Merle, dont ils n'avaient retenu que la très grande antiquité et dont ils se demandaient si elle datait de Napoléon ou du temps de Jules César ! L'échelle peut varier. Le centre d'intérêt reste le même.

La datation, certes, n'est pas le problème unique des sciences préhistoriques, mais elle en est un des aspects les plus importants, au point que si l'on n'y prenait garde, elle absorberait volontiers tous les autres et la transformerait en une sorte de classement méthodique par ordre d'ancienneté de tous les faits humains des temps passés[2]. Simple aspect parmi d'autres de la recherche préhistorique, cette opération, d'ailleurs, est indispensable. Une connaissance aussi exacte que possible de la date ou de la durée des objets et des civilisations permet de classer les documents, de les ordonner les uns par rapport aux autres. Elle fournit le cadre sur lequel on pourra situer les grandes étapes de l'évolution humaine. Elle nous renseigne sur son sens et sur son rythme, sur les phénomènes de contemporanéité, de succession, de filiation, de naissance, de décadence, de disparition. Sans chronologie, relative ou absolue, notre connaissance du passé formerait un inextricable chaos.

1. M. Bloch, « Apologie pour l'Histoire ou Métier d'Historien », *Cahiers des Annales*, n. 3, 1949, p. 5.

2. « La datation des sites et des objets, lit-on dans un récent numéro d'*Antiquity*, est le premier objet de l'archéologie, et leur datation absolue son objet final », *Antiquity*, 1949, p. 114.

Les premières tentatives

Cet aspect essentiel des questions d'âge et de durée s'impose dès les premiers temps de la recherche préhistorique, vers le milieu du XIXᵉ siècle. Mais les difficultés sont énormes de dater ces quelques ossements ou ces quelques pierres que l'on commence à extraire du sol. Hors la chronologie biblique à laquelle on se référait jusqu'alors et qui faisait remonter l'apparition de l'homme à 6 ou 7 mille ans, on ne voit guère comment arriver à dater avec des chiffres des événements antérieurs aux plus anciens textes. Et pourtant l'âpreté des luttes qui se livrent autour de cette chronologie conduit à établir à tout prix de nouveaux chronomètres.

Quelques essais sont tentés dont certains relèvent beaucoup plus de la fantaisie que de la méthode scientifique. On peut citer par exemple, à titre de curiosité, la tentative d'un professeur de Turin, Faé de Bruno, qui, à partir des chiffres actuels de la population du globe et de son augmentation annuelle, démontre qu'il est impossible que la création de l'homme remonte beaucoup au delà de 5.863 ans. Un autre calcul du même genre avait été fait par le chevalier de Paravay pour lequel, si la création de l'homme remontait à plus de quinze mille ans « la population humaine qui croît si vite, comme l'a calculé Euler, aurait rempli de ses ossements les couches superficielles de la terre dans les cinq continents. Il n'en est rien cependant » [1].

Mais ce sont là des élucubrations qui ne retiennent guère l'attention des chercheurs. Plus sérieuses, mais insuffisantes encore sont toute une série de tentatives faites vers la même époque pour fonder une chronologie absolue sur l'épaisseur des dépôts. Dès 1847, Boucher de Perthes avait reconnu que les traces superposées des civilisations forment une sorte d'échelle des jours écoulés et que, dans toute fouille, les couches les plus profondes sont les témoins des civilisations les plus vieilles, tandis que les plus superficielles correspondent aux cilisation les plus récentes. De la distance où se trouvent les objets de la superficie, on peut tirer certaines indications sur leur âge.

Quelques années plus tard on s'avise que de cette donnée toute relative fournie par l'épaisseur des couches, on pourrait tirer des indications plus précises. Vers 1868, des fouilles nombreuses sont pratiquées sur les bords de la Saône ; des observations sont faites sur plus de soixante gisements, qui présentent tous une stratigraphie à peu près identique allant de la surface de marnes bleues à mammouth aux invasions barbares qui marquent la fin de l'empire romain. Dans tous ces gisements l'épaisseur des couches, niveau par niveau, est à peu près équivalente, et correspond donc à une durée déterminée. En comparant l'épaisseur moyenne de chacune des couches avec la durée connue de la couche romaine, on arrive facilement à dater chacune d'elles. Ainsi, la couche romaine qui est située à 1 mètre au-dessous du niveau actuel des prairies est vieille de 1.500 à 1.800 ans, la couche du fer celtique doit avoir de 1.800 à 2.700 ans, celle du bronze de 2.700 à 3.000 ans, celle de la pierre polie de

1. *Matériaux pour l'Histoire de l'Homme*, IV, 1868, pp. 310-315.

3 à 4.000 ans, et les affleurements de marnes bleues profonds de 4 m. 50 et qui contiennent du mammouth de 6.700 à 8.000 ans. On sait que ces dates sont évidemment très approximatives, mais on pense qu'elles peuvent fournir au moins un ordre de grandeur [1].

La même année, en Angleterre, on se livre à des calculs analogues sur les planchers stalagmitiques de la caverne du Kent qui vient d'être fouillée. Une couche contenant des poteries romaines et ayant par conséquent 2.000 ans environ se trouvait recouverte d'une épaisseur de 5 mm. de stalagmite. En comparant cette épaisseur à celle d'autres assises de stalagmite sous-jacente beaucoup plus puissantes, on calcula que l'ensemble devait avoir environ 264.000 ans. Or, au-dessous de toutes ces assises de stalagmite, on recueillit des os travaillés et des silex taillés mêlés à des restes de grands mammifères disparus. D'après ce calcul, l'homme contemporain des éléphants et des rhinocéros existait déjà en Angleterre, il y a 264.000 ans [2].

A peine nés d'ailleurs ces calculs suscitent les plus vives critiques, car, pour qu'ils soient valables, encore faudrait-il être assuré de la régularité des dépôts au cours des âges. De cela nous n'avons aucune preuve. Bien au contraire, les oscillations climatiques que l'on commence à connaître montrent l'extrême variabilité des conditions climatiques au cours des étapes de l'évolution humaine. D'autres essais de datation fondés sur les phénomènes astronomiques aboutissent à des résultats contradictoires et tombent finalement en discrédit. Toute tentative de datation absolue est à peu près abandonnée.

On se contente d'établir quelques indications générales d'âge ou de durée. Au début une forme fruste, une technique grossière ont semblé des signes, bien incertains d'ailleurs, d'ancienneté. Mais ce critère se révèle presque aussitôt sans valeur : c'est l'étude stratigraphique du mobilier d'un gisement, et non l'étude des types, qui indique l'ordre de succession des civilisations. La stratigraphie précède et conditionne la typologie. D'autres critères sont cherchés à partir de l'état de conservation des objets et de leur étude physique ou chimique. Très tôt on a l'idée en particulier d'analyser des os fossiles, et dès le milieu du XIX[e] siècle on sait que la présence du fluor dans un os est plus ou moins proportionnelle à son ancienneté, tandis qu'inversement l'azote des os fossiles se raréfie en raison directe de leur âge. Des analyses chimiques servent ainsi à déterminer la contemporanéité d'ossements provenant d'un même gisement [3], mais la méthode n'est utilisée que sporadiquement. Un peu plus tard, on a l'idée de dater les tessons de poterie par leur aimantation thermorémanente. Les résultats, qui s'expriment en dates précises, sont assez contradictoires.

1. *Matériaux*, IV, pp. 39-42.

2. *Matériaux*, IV, 1868, pp. 48-49 et *Association Britannique pour l'Avancement des Sciences*, 37[e] session, Dundee, 1868.

3. Ed. LARTET, « L'homme fossile dans la Haute-Garonne », *Annales des Sciences Naturelles*, 1861, 4[e] série, t. XV.

Epoques géologiques	% de fluor		% de matières organiques	
	Minimum	*Maximum*	*Minimum*	*Maximum*
Terrains quaternaires .	0,44	1,77	14,90	33,40
Pliocène	0,88	2,51	11,82	16,30
Miocène	0,78	2,80	6,70	9,65
Oligocène	0,62	3,26	5,90	9,30
Eocène	1,40	2,45	7,80	13,06
Crétacé	2,59	3,33	6,47	10,18
Jurassique	0,86	2,19	6,78	15,24
Triasique	1,40	2,07	11,92	16,28
Permo-carbonifère	1,55	3,62	6,07	42,52
Dévonien [a]	2,59	2,59	5,20	5,20
Silurien [a]	2,72	2,72	5,67	5,67

a. Les analyses ne portèrent que sur un seul échantillon, un Asterolepis pour le Dévonien, des débris de poisson pour le Silurien.

— Un essai déjà ancien pour trouver un « indice de fossilisation » d'après la teneur en fluor et en matières organiques des os fossiles. Les résultats montrent que la proportion des matières organiques diminue avec le temps, mais d'une façon très irrégulière. L'augmentation de la teneur en fluor qui est extrêmement lente est beaucoup plus régulière. (D'après Carnot, *Annales des Mines*, 9e série, Mémoires, tome III, 1893, pp. 155-195.)

Et le siècle s'achève sur un échec quasi total des essais de datation absolue. Les tentatives faites dans des directions très diverses et fondées sur des disciplines ou des méthodes sans rapport les unes avec les autres ont donné des résultats disparates et peu encourageants. La connaissance des dates est à peine ébauchée. La stratigraphie est reine. Seule elle a réussi à établir des corrélations qui deviennent de plus en plus précises et détaillées entre les phénomènes géologiques, paléontologiques et humains. Mais ces corrélations ne se réfèrent à aucune échelle de durée certaine. Des hypothèses variées coexistent sur l'âge de l'homme et de ses civilisations successives que rien ne permet de confirmer ou d'infirmer définitivement. On ne peut ponctuer d'aucune date certaine les nombreux tableaux synchroniques de l'évolution des climats, des faunes, des industries humaines. En 1908 encore, Déchelette peut écrire dans son manuel : « ...pour les deux âges de la pierre en Europe, toute donnée chronologique absolue fait jusqu'à ce jour entièrement défaut. Il ne peut être question pour le préhistorien, comme pour l'histoire de la Terre aux âges géologiques que de chronologie relative. »[1]

1. Déchelette, *Manuel*, I, p. 1. Voir aussi p. 302 et suiv.

La datation du passé

Les problèmes de datation du passé ont été depuis quelques années en grande partie renouvelés. Certaines méthodes, amorcées au siècle dernier, ont été récemment reprises et mises au point, d'autres sont entièrement nouvelles sur lesquelles il est légitime de fonder de grands espoirs. Et il est vraisemblable que, dans quelques années ou dans quelques dizaines d'années, la préhistoire disposera d'un cadre chronologique rigide et définitif, analogue à celui dont dispose l'histoire, et sur lequel les civilisations humaines pourront se situer avec précision en remontant jusqu'à 15 ou 20.000 ans au moins, peut-être même davantage.

Si on laisse de côté les études stratigraphiques qui ont atteint aujourd'hui un haut degré de perfectionnement et de précision, mais qui ne fournissent que des ordres de succession, non des ordres de grandeur, on peut classer en deux groupes les méthodes de datation du passé actuellement connues ou utilisées. L'un enregistre des *durées*, l'autre qui ne connait qu'une seule méthode, enregistre des *dates*. Selon les cas, les durées peuvent être exprimées en grandeurs relatives ou absolues ; une date par contre est, par sa nature même, toujours exprimée par un chiffre, qui peut d'ailleurs être plus ou moins approximatif. Il semble évident que toute nouvelle découverte dans le domaine de la datation se placerait d'elle-même dans l'un de ces deux groupes. Au premier groupe appartiennent l'étude des dépôts cycliques ou non (varves, cercles de croissance) et celle des transformations physiques ou chimiques des vestiges archéologiques (fluor, C^{14}) au second l'étude de l'aimantation thermorémanente des terres cuites.

Toute durée s'inscrit quelque part, soit sous forme de vieillissement s'il s'agit du monde vivant, soit sous forme de transformation physique ou chimique s'il s'agit du monde inanimé. Le déroulement du temps est ainsi enregistré dans le sol ou dans les objets qu'il contient. Il n'est que de savoir déchiffrer ces chronomètres enregistreurs naturels.

Le principe le plus simple, le plus anciennement utilisé est celui du *dépôt*. On suppose qu'un dépôt se fait régulièrement ou du moins que les variations d'intensité annuelle, saisonnière ou autre se compensent statistiquement — et on évalue le temps nécessaire à la formation d'un dépôt d'après son épaisseur. Cette méthode est la première qui vienne à l'esprit. Mais sa faiblesse est si évidente qu'elle n'est pratiquement jamais utilisée sous cette forme primitive. Car comment, pour les cas des sédiments de grottes ou de tourbières par exemple, connaître la vitesse d'accumulation des matériaux et comment s'assurer que celle-ci a été régulière à travers les changements de conditions climatiques certainement survenues au cours de sa formation ?

Récemment, cependant, un curieux essai d'utilisation de cette méthode a été fait aux Etats-Unis. Il s'agissait d'évaluer l'âge de dépôts de tourbe de l'Ohio. On avait remarqué que des échantillons de tourbe prélevés sur l'emplacement étudié présentaient des strates annuelles, et, en comptant ces couches, on avait trouvé que le taux d'accumulation de la tourbe devait être de 12 centimètres environ par siècle.

On put contrôler cette donnée grâce à la présence dans le site de deux conifères. On détermina l'âge des arbres à l'aide de leurs cercles de croissance, puis on rechercha à leur pied le niveau auquel apparaissaient les premières aiguilles de pin. La distance entre ce niveau et le niveau du sol devait correspondre à l'épaisseur de la tourbe formée au cours de la croissance des arbres. On calcula ainsi qu'il fallait entre vingt et trente ans pour que se forme un pouce de tourbe. La coïncidence des deux résultats était parfaite. En déterminant à partir de ces chiffres la date de la dernière période sèche marquée par les tourbières de l'Est de l'Amérique du Nord, on trouva qu'elle devait remonter à un peu plus de trois mille ans, chiffre très proche de celui trouvé par de Geer par la méthode des varves [1]. Un tel essai quelque intéressant qu'il soit reste isolé et ne peut comporter d'applications générales. Actuellement, dans la très grande majorité des cas, nos connaissances sur les conditions de formation des dépôts, sont beaucoup trop insuffisantes pour que de l'épaisseur on puisse conclure à la durée. La même critique s'applique à des méthodes analogues, fondées par exemple sur l'étude de l'érosion.

C'est seulement quand le mécanisme d'un dépôt est d'allure cyclique, comme pour les échantillons qui servirent de point de départ au calcul précédent, qu'il peut servir à calculer rigoureusement l'âge de telle ou telle de ses couches ou la durée de formation de l'ensemble. Tous les cycles connus sont d'origine astronomique. Le cycle le plus simple est le cycle annuel. D'autres sont beaucoup plus longs et dépendent des taches du soleil (11 années 4 mois), de la précession des équinoxes (21.000 années), de l'obliquité de l'écliptique (40.000 années), de l'excentricité de l'orbite de la terre (92.000 années) [2]. L'idée d'utiliser ces cycles pour la datation géologique ou préhistorique est déjà très ancienne [3], mais actuellement seuls les cycles annuels ont été efficacement employés en préhistoire.

Le dépôt cyclique le plus connu et le mieux étudié est représenté par les varves. La méthode des varves, née en Scandinavie au début du XXe siècle, a rendu d'immenses services pour l'étude de l'histoire du recul des glaciers à la fin de l'époque glaciaire ; mais son utilisation reste beaucoup plus géologique que préhistorique. Il n'est d'ailleurs pas impossible que son domaine, actuellement limité aux phénomènes glaciaires, ne s'étende un jour bien davantage et que l'on arrive à étudier à la manière des varves les feuillets quelquefois innombrables d'une coupe, mais qu'on ne sait pas toujours à quelle catégorie de phénomènes rattacher. C'est de la méthode des varves que se rapproche le plus, par son principe comme par certains de ses procédés, l'étude des cercles de croissance (qui ne sont rien d'autres que des dépôts annuels) des poutres trouvées dans des gisements archéologiques. Cette

1. A. S. Knox, « The pollen analysis of the silt and the tentative dating of the deposits », dans Fr. Johnson, « The Boylston Street Fishweir », *Papers of the R. S. Peabody Foundation for Archaeology*, vol. II, 1942, pp. 125-126.

2. Fr. E. Zeuner, *Dating the Past, an Introduction to Geochronology*, 2e édit. Methuen and Co, Londres, 1950, p. 4. On trouvera dans cet ouvrage de nombreux renseignements concernant toutes les questions de datation géologique, de varves, de cercles de croissance, etc.

3. Lyell Ch., *L'ancienneté de l'homme prouvée par la géologie*, 1861.

méthode originale, récemment mise au point en Amérique, permettra peut-être de reconstruire une échelle climatique, remontant très haut dans le passé et pouvant servir à une datation rigoureuse de nombreux vestiges végétaux [1].

D'autres méthodes s'attachent à l'étude des *variations de la composition physique ou chimique d'un objet.* La plupart des corps, mais surtout les corps organiques, subissent au cours de leur long séjour dans une couche archéologique de multiples transformations de leur état physique ou chimique. Si la transformation a commencé au moment où l'objet s'est trouvé déposé, ce qui est presque toujours le cas, sauf lorsqu'il s'agit de réutilisation, et si elle s'est poursuivie de façon continue jusqu'au moment de la découverte, l'étude de son état physique ou chimique peut théoriquement donner des indications sur son âge. On devine les multiples difficultés auxquelles se heurte en fait une telle recherche, et dont la principale tient, là encore, à la variabilité des conditions de gisement. L'acidité, l'humidité d'un sol par exemple varient d'un site à l'autre, mais surtout, ce qui est plus grave, ont varié dans un même site d'une époque à l'autre, sans que nous ayons aucun moyen de reconstituer avec précision l'allure de ces courbes de variation. Malgré ces difficultés des essais récents, fondés sur l'étude de ces transformations et tentés dans différents pays, ont donné les plus encourageants résultats.

Le plus simple exemple de l'étude de la variation de composition d'un corps peut être donné par le poids d'un os fossile, l'aspect d'un bois immergé pendant des siècles, la patine d'un silex, que tout fouilleur est habitué à jauger d'un coup d'œil. Naturellement des appréciations de ce type sont fort imprécises et sujettes à toutes les erreurs. Des savants américains, étudiant il y a quelques années les effets d'une immersion prolongée sur différents bois, ont cherché s'il serait possible d'utiliser les changements physiques et chimiques survenus pour mesurer l'intervalle de temps écoulé depuis l'immersion des bois étudiés, tout en tenant d'ailleurs pour probable qu'une telle recherche, quelqu'intéressante qu'elle pût être d'autre part, était illusoire quant à la datation des matériaux étudiés. Les tissus végétaux se décomposent évidemment de différentes manières et à des taux différents, selon leur composition chimique et les circonstances particulières dans lesquelles ils sont placés... La seule possibilité d'estimer le facteur temps serait de comparer le bois étudié avec des bois identiques trouvés dans un état de décomposition analogue dans un milieu équivalent et dont l'âge serait connu [2]. !

On a aussi, depuis fort longtemps, essayé d'apprécier l'âge des ossements fossiles d'après leur composition chimique, et plus particulièrement d'après leur teneur en azote ou en fluor. La difficulté essentielle reste toujours la même : les conditions de dépôt sont variables, et corrélativement la vitesse de transformation des os qu'ils renferment. Pourtant ces tentatives de datation pratiquement abandonnées depuis le début du XXe siècle, ont été récemment reprises et ont donné des résultats intéressants. En Suisse, on a essayé de déterminer l'âge des os d'après la proportion d'azote et d'osséine qu'ils renferment et qui diminuent d'autant plus que l'os est

1. Voir chapitre VII, p. 187-197.

2. W. Bailey et Elso S. Barghoorn, Jr., « Identification and physical condition of the stakes and wattes from the Fishweir, dans Fr. Johnson, *The Boylston Street Fishweir*, 1942, pp. 82-89.

plus ancien [1] ; en Angleterre c'est la teneur en fluor des os fossiles, teneur qui augmente avec l'âge qui a retenu l'attention et qui a permis de déterminer l'âge relatif de lots d'ossements provenant d'un même gisement dans lequel ils se trouvaient mélangés, mais qui appartenaient à des périodes différentes [2].

Mais il est des transformations de la matière, encore inconnues il y a quelques dizaines d'années dont la durée est susceptible d'une mesure rigoureuse, ce sont les transformations dues à la désintégration des corps radioactifs. Or, on a découvert récemment que le carbone qui entre dans la composition des corps vivants est radioactif, et on a aussitôt essayé d'appliquer cette propriété à l'étude de l'âge des vestiges organiques. La radioactivité du carbone dont la valeur dans un être vivant est toujours la même parce que toujours renouvelée, décroît régulièrement au cours des siècles dans un vestige organique mort, du charbon de bois par exemple, et atteint la moitié de sa valeur primitive au bout d'une période constante de près de 6.000 ans ; encore 6.000 ans et cette valeur est divisée par 4, encore 6.000 et elle est divisée par 8, et ainsi de suite. On conçoit qu'il soit ainsi possible de déterminer l'âge d'un vestige organique en mesurant le taux de sa radioactivité. Les premiers essais faits dans ce sens ont donné des résultats très satisfaisants. Certes la méthode en est encore à ses premiers pas et il faut être prudent quant à ses conclusions, mais si elle se confirmait on pourrait parler là d'une découverte réellement sensationnelle et qui bouleverserait les possibilités actuelles de datation en préhistoire [3].

Il est enfin un procédé auquel on fait souvent allusion, mais dont le principe est encore peu connu des préhistoriens. Ce procédé, fondé sur l'étude de l'aimantation des terres cuites, présente cette particularité par rapport aux autres méthodes énumérées jusqu'ici de ne plus déterminer une durée, mais une date enregistrée une fois pour toutes dans un lieu donné, à une époque donnée, un peu à la manière d'une inscription gravée sur la pierre. Les poteries, les briques et toutes les terres cuites enregistrent, au cours de leur cuisson, le champ magnétique contemporain de leur cuisson. Comme le champ magnétique terrestre varie de siècle en siècle, il est théoriquement possible d'étudier la courbe de sa variation à partir de poteries d'âge connu. Du jour où l'on aura réussi à établir une échelle des variations magnétiques dans le passé, il deviendra possible à partir du magnétisme de n'importe quelle terre cuite de déterminer son âge. Théoriquement du moins, car en fait ces recherches se heurtent à de nombreuses difficultés, et elles ne sont pas encore assez avancées pour que l'on puisse pronostiquer avec certitude leur avenir [4].

C'est peut-être dans le domaine de la datation que l'on peut prévoir pour la préhistoire les plus importantes acquisitions. On pourrait être tenté de penser que la détermination de dates rigoureuses est un luxe et que la connaissance des successions et des évolutions est la seule importante. Ce qui est vrai en quelque manière, car il importe peu finalement que l'on puisse attribuer tel phénomène de civilisation, mettons la splendide frise sculptée du Cap-Blanc, à tel millénaire plutôt qu'à tel

1. Voir l'étude de F. E. Koby sur les cavernes de Saint-Brais, *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, t. IL, 1938, pp. 138-196.
2. Voir chapitre VIII. p. 199-203
3. Voir chapitre IX. p. 205-217
4. Voir chapitre X. p. 219-235

autre, l'essentiel étant de savoir à quel complexe culturel elle se rattache. Mais la connaissance de dates absolues, outre son intérêt strictement historique au sens traditionnel du mot, fournit des données indispensables sur le rythme de l'évolution.

Les études stratigraphiques nous renseignent sur les états successifs des milieux et des industries pour chacun des gisements étudiés. Les corrélations, souvent difficiles à établir même pour des gisements voisins, deviennent presque impossibles quand il s'agit de régions isolées pour lesquelles les données géologiques sont différentes et où l'évolution climatique ou archéologique n'a pas été nécessairement parallèle. C'est là qu'intervient la datation absolue en permettant de préciser et de confirmer les corrélations établies et d'en construire de nouvelles. Quelques points de repère fixes établis pour une région plus ou moins étendue, permettraient de restituer l'image complexe du monde et la marche inégale des différents groupes humains qui s'y sont succédé, de mieux pénétrer le jeu des influences, les phénomènes de survivance, de régression, d'invention, de diffusion. La carte de répartition d'un fait culturel avec la date de son apparition pour chaque localité, nous permettrait des vues d'ensemble d'une précision encore inconnue pour le paléolithique. Que ne donnerions-nous, par exemple, pour pouvoir mettre des dates précises sur quelques-unes des œuvres les plus caractéristiques de l'art quaternaire ?

Nous n'en sommes pas encore là, mais la datation absolue est déjà entrée dans le domaine de la réalité pour les temps post-glaciaires de l'Europe septentrionale, et il n'est pas impossible que ses données ne s'étendent prochainement à d'autres régions et à d'autres périodes. [1]

A. L.

1. Voir appendice p. 320

CHAPITRE VII

L'ANALYSE DES CERCLES DE CROISSANCE [1]

La dendrochronologie ou analyse des cercles de croissance des arbres est une science nouvelle, née en Amérique et peu connue en France, où elle n'a encore jamais été utilisée. Elle a permis de reconstituer minutieusement pour certaines régions l'histoire des variations climatiques passées et de dater à une année près certains vestiges archéologiques de bois. Bien que la préhistoire de nos pays soit beaucoup plus ancienne que celle des pays de l'Amérique du Nord, et que par suite les conditions d'application soient fort différentes, la dendrochronologie est une méthode si ingénieuse qu'il n'est pas dénué d'intérêt d'en donner un aperçu rapide. Des applications à la préhistoire la plus récente de l'Europe ne sont d'ailleurs pas impossibles.

On sait que la croissance des arbres varie, au cours d'une année, du printemps à l'automne, et que cette variation est enregistrée dans la coupe transversale d'un tronc sous forme de cercles de croissance dont chacun correspond à une période d'un an. Chaque cycle annuel se distingue facilement du précédent. En effet, le bois de printemps est composé de grandes cellules à cloisons minces et peu colorées, tandis que le bois d'été est composé de petites cellules aux cloisons épaisses et foncées. Tandis qu'il y a passage insensible entre le bois de printemps et celui d'été, la séparation entre le bois d'été et celui du printemps suivant est par contre extrêmement nette, puisqu'on passe des cellules les plus petites et les plus foncées aux cellules les plus grandes et les plus claires. Tout le monde connaît cette structure du bois, et il n'est pas un bûcheron qui ne sache l'utiliser pour déterminer l'âge des arbres qu'il abat.

Il est arrivé à plusieurs reprises au XIXe siècle, que l'on utilisât ces cercles de croissance pour attribuer un âge minimum à certains tertres

1. Ces quelques pages ont surtout été rédigées d'après GLOCK, *Principles and Methods of Tree-Rings Analysis*, Washington, 1937, et F. ZEUNER, *Dating the Past*, Londres, 1950, pp. 6-29.

indiens de l'Amérique du Nord dont l'origine était complètement inconnue, et sur lesquels avaient poussé de grands arbres. Il est même arrivé, le cas est signalé par Wilson, qu'un sapin vieux de trois cents ans ait poussé par dessus un cèdre abattu âgé lui aussi de plusieurs siècles. Dans de tels cas, le compte des cercles de croissance permit de remonter à quelques siècles en arrière et d'attribuer ces tertres à des civilisations antérieures à celles des Indiens actuels. Ces calculs bien rudimentaires n'ont en réalité que de lointains rapports avec la dendrochronologie moderne.

L'analyse des cercles des croissances :

C'est un américain, le Dr A. E. Douglass, qui, il y a une quarantaine d'années, eut le premier l'idée d'utiliser les cercles de croissance des arbres pour l'étude du passé. Le Dr. A. E. Douglass n'était pas un archéologue, mais, directeur de l'Arizona University Observatory, il s'était donné à l'étude des variations climatiques des quelques derniers siècles, dans le but de retrouver à travers elles les variations de l'intensité solaire pendant les périodes correspondantes. En 1911, après quelques années de tâtonnements, Douglass avait trouvé le moyen de dater des troncs d'âge inconnu et de reconstituer par leur intermédiaire la courbe des variations climatiques des derniers siècles.

Le principe de la méthode est à la fois simple et ingénieux. Il correspond point par point à celui sur lequel les géologues scandinaves ont fondé l'étude des varves glaciaires. Tous les cercles de croissances d'un arbre ne sont pas égaux entre eux. Leur épaisseur varie chaque année en fonction de la température et de l'humidité ambiantes : les années humides et chaudes, il y a augmentation de la croissance, les années froides et sèches il y a diminution. Ainsi la coupe transversale d'un arbre présente une succession d'anneaux plus ou moins épais qui représentent avec assez de précision les variations climatiques dont il a subi l'influence au cours de sa croissance. Naturellement, tous les arbres d'une même région présentent en principe les mêmes alternances de l'épaisseur relative de leurs cercles de croissance puisqu'ils ont eu à subir les mêmes variations climatiques.

Ainsi, si l'on coupe la même année et dans la même forêt, deux arbres d'âge quelconque, et si l'on compare leurs cercles de croissance en partant du cercle extérieur qui est le plus récent, celui de l'année, on constate que ceux-ci présentent les mêmes séries de variations. Par contre, si dans

cette même forêt on coupe deux arbres à vingt ans d'intervalle, la corrélation entre les deux séries de cercles de croissance est décalée de vingt cercles.

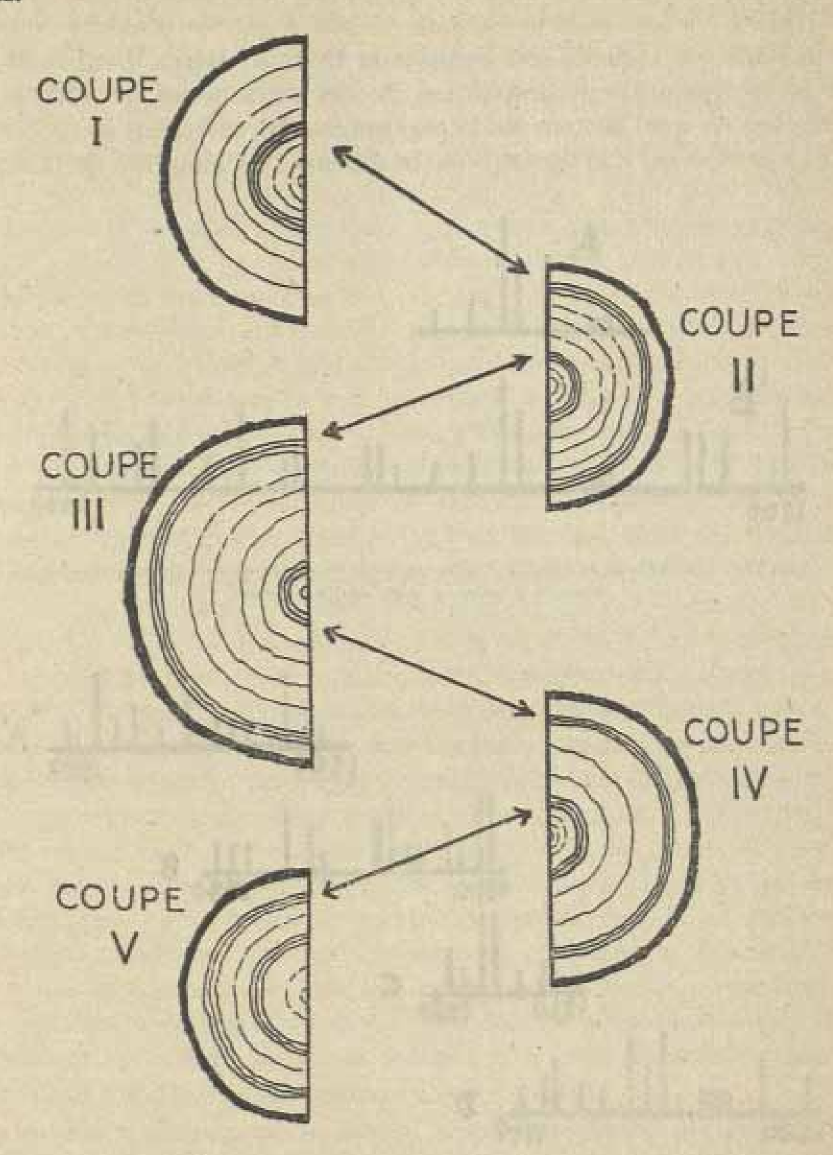


FIG. 36. — *Diagramme de la Méthode de corrélation d'après Glock* (p. 29). I. *Arbre abattu à une date connue.* II — III — IV — V : *arbres de plus en plus anciens.*

Partant de là le mécanisme de la datation d'un tronc ou d'une poutre donnés est facile à comprendre. Admettons que l'on possède pour la région d'où provient le tronc à dater, une échelle des variations climatiques des derniers siècles, antérieurement établie à partir d'autres arbres et dans la durée de laquelle soit compris le tronc à dater. Il suffit de comparer les représentations graphiques de ces deux séries de variations et de chercher en quel secteur de la plus longue (B), celle dont on recherche la date (A) peut venir s'intégrer (voir le schéma très simplifié de la fig. 37).

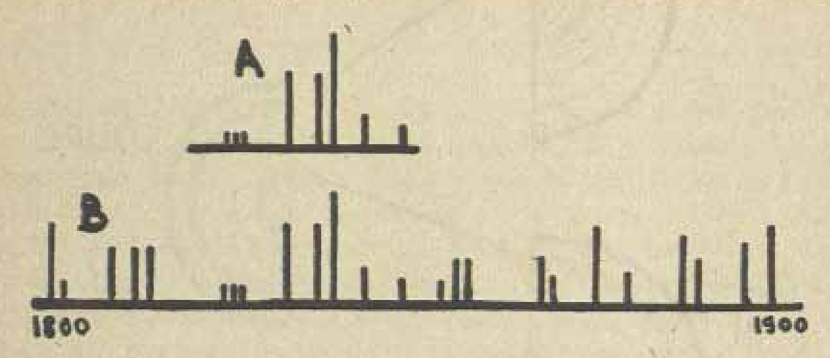


Fig. 37. — *Principe de la datation d'un arbre A par comparaison avec une séquence climatique B. L'arbre A a été abattu en 1850.*

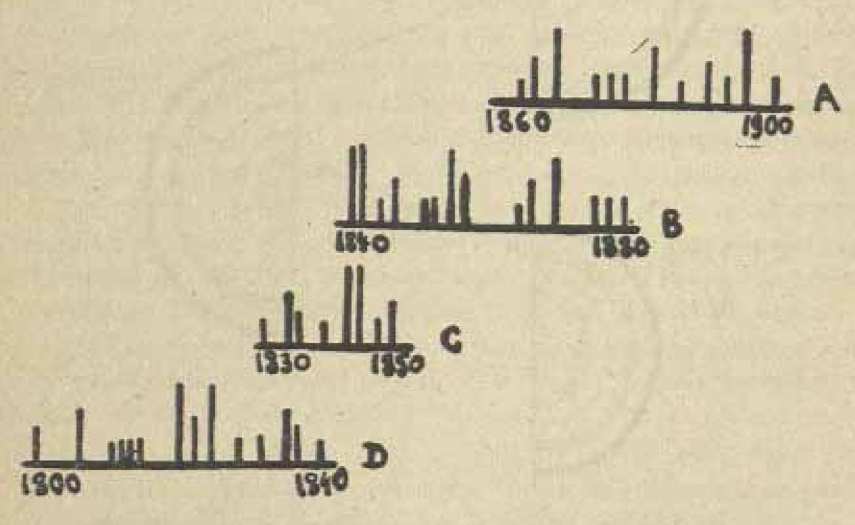


Fig. 38. — *Principe de l'établissement d'une séquence climatique à partir d'un arbre A d'âge connu en remontant à des arbres de plus en plus anciens.*

Mais le problème est justement d'établir l'échelle des variations climatiques à partir de laquelle on pourra dater n'importe quel tronc. Il faut pour celà en partant d'un arbre d'âge connu trouver des bois de plus en plus anciens qui permettent chacun de remonter un peu plus loin dans le passé comme le montrent les schémas des figures 36 et 38. Soit A (fig. 38) le tronc d'âge connu et B un tronc plus ancien dont on ignore l'âge exact : en comparant les variations des deux séries de cercles, on doit trouver deux secteurs identiques qui représentent les périodes pendant lesquelles A et B furent contemporains et subir les mêmes influences climatiques. Mais comme B est plus ancien que A, le graphique qui le représente permet de prolonger de quelques années en arrière la courbe des variations climatiques. On recommence avec C, puis avec D, etc. En principe, le processus est indéfini à condition que l'on puisse se procurer des bois dont les âges se chevauchent toujours d'un certain nombre d'années.

La simplicité théorique de ces opérations ne doit pas faire illusion. En pratique, beaucoup de causes d'erreurs interviennent et seul un observateur expérimenté peut obtenir des résultats valables. L'âge des arbres sur lesquels ont été sélectionnés les échantillons, leur espèce, leur état, l'endroit où ils ont poussé, sont autant de facteurs capables d'influer sur la croissance des cercles : par exemple, les très vieux arbres ont une croissance ralentie et sont difficiles à lire. Les cercles des conifères sont plus distincts que ceux de la plupart des autres arbres et c'est sur eux d'ailleurs qu'a porté la grande majorité des études. Un arbre qui a poussé dans un milieu très humide aura des cercles beaucoup moins distincts qu'un arbre qui a poussé dans un milieu sec, et en principe on évitera tout échantillon provenant de marais, des bords d'une rivière, etc. Les graphiques de la fig. 39 qui représentent trois sections contemporaines d'arbres différents, fournit un exemple de ces variations individuelles. Aussi doit-on pour établir la séquence climatique d'une région, analyser un grand nombre d'échantillons. La plus grande partie des recherches de Douglass et de son équipe portèrent sur deux espèces de conifères, le Pinus Silvestris et le Pinus Ponderosus, qui ont des cercles de croissance particulièrement nets. Les forêts de l'Arizona et du New Mexico d'où étaient prélevés les échantillons, sont très sèches et les arbres y sont particulièrement sensibles à des variations climatiques même minimes.

Pour rendre plus facile la lecture d'un échantillon, qui peut être soit la section transversale complète d'un tronc, soit un simple quartier de cette section, on en polit d'abord parfaitement la surface. Cette prépa-

ration est indispensable pour reconnaître les cercles microscopiques. Avant la lecture faite à l'aide d'un micromètre spécial, on mouille la coupe ce qui en fait mieux ressortir la structure. Une bonne loupe grossissant de 10 à 16 fois, et pour les cas douteux, une loupe binoculaire, sont indispensables pour pouvoir reconnaitre les cercles microscopiques (il y a des cercles qui manquent complètement).

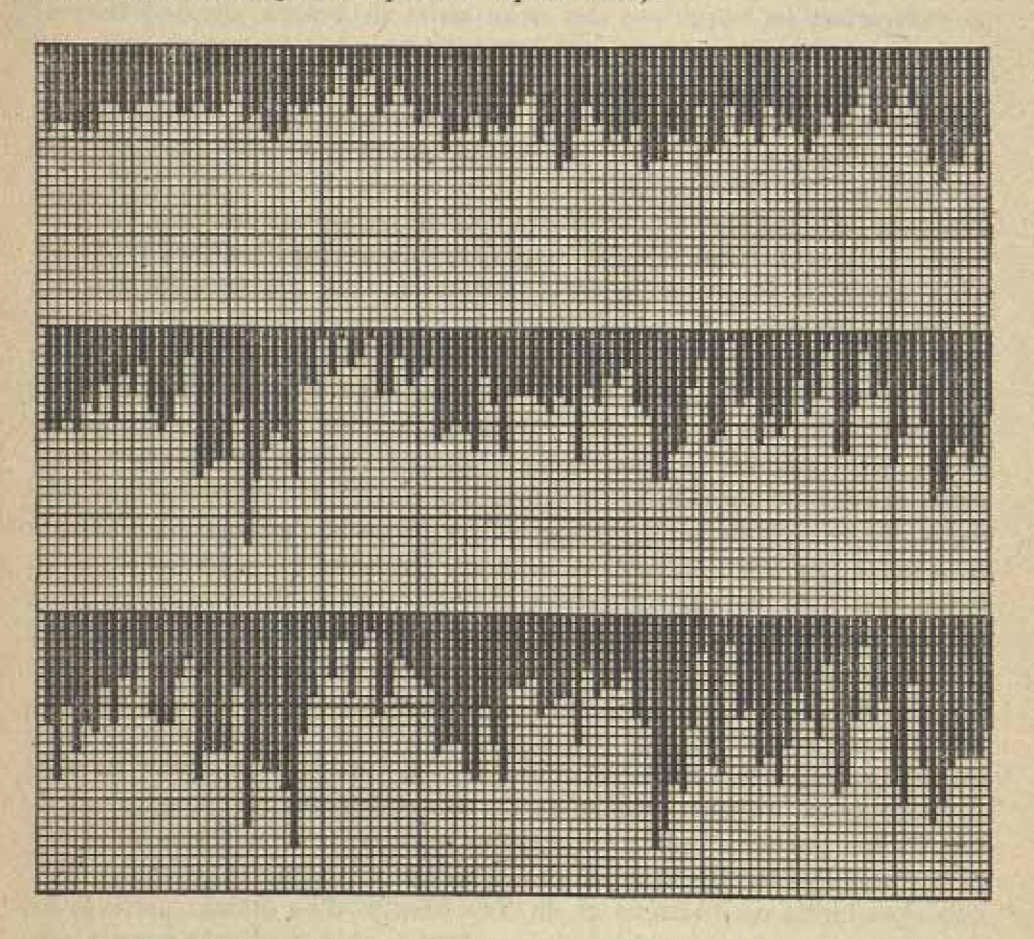


FIG. 39. — *Graphique montrant la corrélation des variations des cercles de croissance de trois arbres d'âge connu. La comparaison porte sur une période de 100 ans (1834-1934). Chaque cercle est représenté par une ligne verticale noire dont la hauteur est proportionnelle à l'épaisseur du cercle. Les deux arbres A et B étaient de la même taille et à peu près du même âge et poussaient à peu de distance l'un de l'autre. Dans la pratique un tel procédé de comparaison est insuffisant et l'on cherche par différents moyens à mettre en évidence des traits caractéristiques des variations.*
(D'après H. S. GLADWIN, *Medallion Papers*, n° XXVIII, 1940, p. 15).

Dans la pratique, pour établir le schéma d'une série de variations, on dénombre d'abord tous les cercles de l'échantillon. Si l'on connaît la date à laquelle l'arbre a été coupé on compte de l'extérieur (date de l'abatage) vers le centre et chaque cercle est daté de l'année de sa formation. Toutes les épaisseurs sont mesurées au 1/100e de millimètre et reportées sur un papier millimétré. Il y a différentes méthodes pour établir les graphiques. La méthode de A. E. Douglass est la plus classique. Les anneaux d'épaisseur normale sont simplement comptés, leurs épaisseurs ne sont pas portées sur papier millimétré : seuls les anneaux particulièrement minces sont mesurés et représentés par une ligne verticale d'autant plus longue que l'épaisseur de l'anneau est plus mince. Les anneaux particulièrement épais sont indiqués par la lettre B (broad), ou, le cas échéant, par BB, BBB, etc. On obtient ainsi un diagramme qui a l'avantage de faire ressortir plus nettement les traits caractéristiques d'une séquence climatique. Plusieurs essais ont été tentés pour perfectionner la méthode d'établissement des graphiques[1] mais ils ne font intervenir que des changements de techniques. Le principe reste le même.

Signalons enfin, sans que l'on puisse actuellement en tirer de conséquences précises, que l'analyse des cercles de croissance put mettre en évidence un cycle climatique régulier d'un peu plus de 11 ans, ce qui correspond justement à la périodicité des taches solaires. Il semble bien qu'il ne s'agisse pas de coïncidence, mais d'un rapport entre les deux séries de phénomènes, car, alors que la question de ce rapport était justement à l'étude, des recherches indépendantes purent mettre en évidence une ancienne corrélation des deux séries : le cycle de 11 ans n'est plus enregistré par les forêts de l'Arizona, mais y est remplacé par un cycle de 10 ans pour la période qui s'étend de 1645 à 1715, et les plus anciennes observations faites en Europe, relatives aux taches solaires font mention d'une grande diminution des taches observées justement pendant la période 1645-1715.

Applications aux recherches archéologiques.

L'étude de l'histoire climatique des forêts du Sud-Ouest des Etats-Unis (Colorado, Arizona, New Mexico) était déjà assez avancée lorsqu'on eut l'idée de l'appliquer à la datation des Pueblos indiens. On disposait com-

1. Voir en particulier H. S. GLADWIN, « Methods of Correlation », *Medallion Papers*, n. 28, 1940, p. 61.

me matériaux de travail d'une part des poutres des villages modernes ou récemment abandonnés et d'autre part des poutres de nombreux sites préhistoriques.

On établit séparément les deux séries, la première partant de nos jours et remontant de proche en proche jusqu'au XIIIe siècle ; la seconde établie d'une façon toute relative et sans point de repère chronologique. Et comme l'intervalle qui séparait les deux séries était inconnu, on se demandait s'il serait vraiment possible un jour de les faire correspondre. C'est une poutre de pin à demi carbonisée, trouvée à Showlow qui fournit le « missing link », le chaînon manquant. Cette poutre provenait d'un arbre qui avait dû être abattu vers 1380; ou peu après car la surface extérieure était en assez mauvaise état ; elle portait indubitablement les traces des grandes sécheresses de la fin du XIIIe siècle à la suite desquelles furent sans doute abandonné un certain nombre des pueblos du Colorado ; et en remontant jusqu'au cœur, on parvenait à l'année 1237. C'était la date la plus ancienne jusqu'ici obtenue pour la région.

En comparant ce nouveau tronçon chronologique (1260-1237) avec la séquence préhistorique, on s'aperçut que l'année 551 de cette dernière était l'équivalent de l'année 1251 de la chronologie historique. Le raccord était fait. Finalement on a pu établir une chronologie absolue des Indiens des Pueblos et des Basket Makers qui s'étend du début de notre ère jusqu'au XIXe siècle.

Ces résultats qui couvrent la phase finale de la préhistoire nord-américaine n'ont évidemment rien de commun avec ceux qu'il faudrait obtenir pour la préhistoire ou la protohistoire européenne qui remontent beaucoup plus haut. Quelques essais d'application à nos contrées ont été faits cependant qui ne sont pas dénués d'intérêt.

Sans essayer d'établir les séries climatiques d'une région en remontant de siècle en siècle à partir d'arbres ou de poutres de plus en plus anciens, on a surtout cherché en Europe à utiliser une échelle climatique établie par A. E. Douglass à partir des gigantesques Sequoia de la Californie et remontant jusqu'à 3.250 ans en arrière. La difficulté d'une telle méthode réside évidemment dans l'éloignement entre les forêts de Californie et les sites préhistoriques européens, pour lesquels des conditions climatiques différentes ont pu intervenir.

Quoiqu'il en soit, un collaborateur de de Geer, E. Hult de Geer, ayant étudié les cercles de croissance des bois d'un fort lacustre préhistorique de lac de Tingstäde Träsk dans le Götland (Suède), les compara à la courbe

des Sequoia établie par Douglass et crut pouvoir situer l'époque de la construction au ve-vi^e^ siècle de notre ère. Le même chercheur étudia de ce point de vue un tertre situé à Romerike, en Norvège, et approximativement daté des ixe-xie siècles. Les bois étudiés et comparés à la courbe des Sequoia confirmèrent ces données. En 1934, des analyses furent également faites sur les poutres du crannog de Ballinderry dans le comté de Westmeath (Grande-Bretagne). [1]

Il est étonnant que d'autres essais n'aient pas été tentés sur les pilotis des palafittes du Jura français ou suisse. La principale raison en est sans doute l'absence de chercheurs ou de laboratoires spécialisés en France ou en Suisse. Peut-être aussi les recherches sont elles découragées par l'absence d'une courbe climatique portant sur quelques millénaires valable pour cette région de l'Europe. Les téléconnexions c'est-à-dire les corrélations entre des phénomènes climatiques éloignés sont douteuses et des études faites sur des palafittes européens ne pourraient se référer qu'à la courbe établie par l'intermédiaire des Sequoia. Les résultats seraient sujets à discussion mais ils n'en seraient pas moins intéressants et pourraient peut-être servir à établir si oui ou non ces téléconnexions sont valables.

L'expérience vaut d'être tentée. Les pilotis des palafittes sont encore extrêmement nombreux ; ils sont souvent faits de pin ; leur état de conservation permet de lire leurs cercles de croissance. Leur diamètre, donc leur âge, qui est de 20 à 25 cm. en moyenne est suffisant. Même si, ce qui n'est pas certain, il est impossible de les intégrer dans une chronologie absolue, il serait sans doute d'un très grand intérêt pour notre connaissance des civilisations lacustres d'établir de cette façon des chronologies relatives des différentes stations. Nous pourrions apprendre par ce moyen l'intervalle qui a séparé la construction de deux palafittes, établir la durée des occupations, rétablir des ordres de succession douteux, etc. Ce serait là un travail passionnant mais de longue haleine et qui ne vaudrait la peine d'être entrepris que par des chercheurs disposant d'assez de temps pour faire une étude portant sur l'ensemble des civilisations lacustres de la région.

D'autres pilotis que ceux des stations du Jura sont d'ailleurs souvent mis à jour [2], des vestiges en bois (pirogues, etc.) ne sont pas rares, il existe

1. Clark, *Archeeology and Society*, Methuen, 1939, p. 141 et suivantes.
2. Voir par exemple Gallia, tome VI, 1948, fasc. 1, pp. 192 et 221-222.

des forêts enfouies dans la tourbe ou d'en d'autres formations. Une étude de grande envergure pourrait être entreprise sur le « forest-bed » submergé au large du Suffolk et du Norfolk qui comprend sur plusieurs dizaines de km. des restes de nombreux troncs d'arbre dont beaucoup sont encore enracinés. Quelques-uns ont 60 ou 90 cm. de diamètre. On y rencontre de nombreux conifères (Pinus sylvestris, Pinus abies) qui ont justement été reconnus comme les meilleurs matériaux de la dendrochronologie. Il semble qu'à défaut de chronologie absolue, l'analyse d'arbres de plus en plus rapprochés de la côte pourrait donner des renseignements extrêmement précis sur la vitesse de l'envahissement de cette forêt submergée par la mer. C'est ce qui fut essayé sur les forêts submergées de la Nouvelle Angleterre et de la Nouvelle Ecosse il y a une vingtaine d'années[1]. L'étude de la vitesse de la progression de la mer dans cette région avait donné des résultats assez contradictoires, lorsqu'on eut l'idée d'y appliquer l'analyse des cercles de croissance. Ces forêts se prêtaient particulièrement à une telle expérience puisque, en certains endroits, il n'y a pas discontinuité entre les arbres actuellement vivants et les troncs et les souches découverts à marée basse. On choisit cinq points différents de la côte. Les échantillons de bois y furent recueillis à marée basse, en évitant soigneusement les endroits déprimés ou surélevés, qui, en formant des chenaux ou des îles, avaient dû changer les conditions moyennes de vie des arbres. On sélectionna les arbres les plus âgés, ceux dont il restait un tronc assez haut pour que l'allure des cercles de croissance ne soit pas perturbée par la zone des racines, ceux auxquels il restait encore au moins quelques lambeaux d'écorce, car seule l'écorce indique la dernière année de vie d'un arbre, et, parmi les échantillons ainsi prélevés, on ne conserva que ceux qui avaient appartenu à des espèces facilement comparables. Finalement après un long travail de prélèvement qui porta sur plusieurs centaines d'arbres, et une sélection sévère, 10 à 25 échantillons seulement par site, en tout 80, furent retenus.

L'étude de leurs cercles de croissance fut très décevante, et on ne put établir presqu'aucune corrélation. Les arbres sans doute avaient été choisis trop éloignés les uns des autres, et n'étaient pas contemporains. Deux résultats cependant furent acquis, intéressants d'ailleurs : d'abord que le contact avec l'eau de mer avait causé une mort presque immédiate, car

1. Charles J. Lyon et James W. Goldthwait, *An attempt to cross-date trees in drowned forests*, *The Geographical Review*, 1934, vol. 24, n. 4, pp. 605-614.

sur aucun échantillon on ne put observer de signe de ralentissement de la croissance ; d'autre part, et c'est tout de même un début de réponse au problème posé, que l'avance de la mer avait certainement été très lente, expliquant ainsi les longs intervalles et le manque de corrélation entre la mort de deux arbres.

En dépit de ce demi-échec qui montre la complexité et les difficultés d'une étude de ce genre, il semble que d'autres essais pourraient être tentés. D'autres exemples d'application pourraient sans doute être trouvés. La dendrochronologie offre aux chercheurs un champ de recherches difficiles certes, mais pratiquement inexploité pour l'Europe et qui pourrait être fructueux. [1]

A. Laming.

1. Voir appendice p. 321.

CHAPITRE VIII

LA DATATION DES OS FOSSILES PAR L'ANALYSE DE LEUR TENEUR EN FLUOR

Principes et Histoire de la méthode.

Les os et les dents enfouis dans le sol absorbent le fluor des eaux de circulation du sol ou de celles qui imprègnent la roche sédimentaire dans laquelle ils se trouvent ; cet élément est fixé dans leur substance par un processus irréversible d'échange ionique. Pour des conditions moyennes d'humidité, la proportion du fluor contenu dans les os augmente progressivement. Par suite, quand des os d'âge différent sont trouvés dans un même site et dans des conditions équivalentes, la comparaison de leur contenu en fluor peut parfois fournir un moyen pratique de les distinguer et de déterminer leur antiquité relative.

Les os et les dents sont essentiellement constitués de phosphate de chaux sous forme cristalline, connu sous le nom de hydroxyapatite, $Ca^{10} (PO^{4})^{6} (OH)^{2}$. Ce minéral présente de fortes affinités pour le fluor qui, sous forme de *fluorures*, se trouve à l'état de trace dans les eaux contenues dans les formations sédimentaires et dans les sols (habituellement dans la proportion d'environ 1 pour 1 million). Quand les ions de fluor viennent en contact avec la matière minérale des os et des dents, ils sont aussitôt captés et fixés. Le fluor déplace des ions hydroxyls dans le réseau ultramicroscopique de l'hydroxyapatite qui constitue la matière de l'os, et qui se trouve ainsi graduellement converti, particule par particule en fluorapatite, $Ca^{10} (PO^{4})^{6}. F^{2}$. Cette forme d'apatite est très stable et ne se dissoud pas facilement, et, à moins que les conditions du sol ou du sous-sol ne deviennent si acides que les os et les dents soient entièrement détruits, les ions de fluor qui y ont pénétré n'en sortent plus. En raison de la facilité avec laquelle les ions de fluor se diffusent et en raison de la porosité des matériaux osseux, la fixation du fluor n'est pas confinée à la seule surface de l'os, mais a lieu d'une façon uniforme dans toute son épaisseur. Toutes les catégories d'os, de bois de cervidés et de dentine présentent à peu près la même capacité d'absorbtion du fluor, mais, surtout aux premiers stades de la fossilisation, l'émail est relativement résistant à la pénétration de ces ions.

En 1806, les chimistes français Fourcroy et Vauquelin étaient parvenus à la constatation que l'ivoire enfouie absorbe le fluor du sol. En 1844 le chimiste anglais James Middleton affirmait déjà que les os fossiles contenaient une quantité de fluor proportionnelle à leur antiquité. En 1893 A. Carnot affirma de nouveau que le contenu en fluor des os fossiles augmente avec leur âge géologique ; mais dès cette époque on se rendait compte qu'il était impossible par ce moyen de fixer un âge absolu aux ossements fossiles parce que, d'une région à l'autre l'abondance du fluor est très variable. En 1948, l'auteur de cet article eut l'occasion de montrer que, des travaux de Carnot, on pouvait tirer une conclusion importante d'ordre général : la détermination de leur contenu en fluor peut quelquefois servir à distinguer des os d'époques différentes qui se sont trouvés mélangés dans un même gisement. Par la suite, la collaboration du British Museum et du Department of the Government Chemist à Londres permit de déterminer l'utilisation et les limites de cette méthode de datation par le fluor soit dans les recherches d'archéologie paléolithique soit dans les recherches de paléontologie quaternaire [1].

Quelques exemples d'utilisation de la méthode.

1. La méthode est surtout utile lorsqu'on ne peut décider par les moyens ordinaires si un crâne ou un squelette humain est contemporain d'un dépôt pléistocène dans lequel il a été découvert, ou s'il y a été enterré à une date beaucoup plus récente. Une illustration frappante de ce cas est fournie par le squelette de Galley Hill et par la mâchoire de Moulin Quignon.

En 1888, des débris de squelette humain parmi lesquels se trouvait un crâne (*Homo sapiens*), furent trouvés à 8 pieds au-dessous de la surface de graviers fluviatiles du Pléistocène Moyen, à Galley Hill, près de Swanscombe, Kent. Les premières enquêtes aboutirent à la conclusion qu'il n'y avait aucune trace d'inhumation et que par conséquent le squelette était contemporain des graviers qui le contenaient. Ces conclusions furent souvent remises en question jusqu'à ce que, en 1948, on put mettre fin à la controverse grâce à la méthode de datation par le fluor. Tous les ossements animaux provenant des graviers du Pléistocène Moyen de la région de Swanscombe qui furent étudiés contenaient environ 2 % de fluor ; ceux qui provenaient des dépôts du Pléistocène Supérieur de la même région en contenaient environ 1 % ; quant aux ossements post-pléistocènes, leur teneur variait entre 0,05 et 0,3 %. Pour le squelette de Galley Hill on trouva une proportion de 0,3 % environ de fluor, proportion qui indiquait qu'il s'agissait d'une inhumation datant au plus tôt de la fin du Pléistocène. Par contre les os du crâne de Swanscombe,

1. K. P. Oakley et C. R. Hoskins, « New Evidence on the Antiquity of Piltdown Man », *Nature*, vol. CLXV, 11 mars 1950, pp. 379-382, et publications en préparation.

découvert en 1935-36, contenait la proportion attendue de 2 % de fluor. Son association avec la culture acheuléenne était ainsi confirmée.

La comparaison de la teneur en fluor de la mâchoire de Moulin Quignon avec celle de dents et d'ossements animaux du Pléistocène Moyen de la région d'Abbeville a confirmé la conclusion à laquelle on était parvenu que cette mâchoire n'appartient pas aux graviers chelléens (abbevilliens) dans lesquels elle fut trouvée, mais s'y est trouvée enfouie à une époque relativement récente.

2. Il peut arriver aussi que cette méthode soit utile pour distinguer des os et des dents fossiles appartenant à plusieurs époques géologiques et qui se sont trouvés mélangés à la suite d'un remaniement des dépôts par l'action d'un courant, ou parce qu'ils ont glissé dans une cavité (fissures ou grottes). L'application de la méthode aux vestiges de Piltdown est un bon exemple de cette utilisation.

Le gravier de Piltdown est un dépôt remanié contenant des dents et des os d'animaux ayant appartenu à deux époques au moins : un groupe ancien comprend des dents d'*Elephas planifrons* et de *Mastodon arvernensis* du Villafranchien (Pléistocène Inférieur), et un groupe plus récent contient des restes de *Castor fiber* et de *Cervus elaphus*, certainement postérieurs au Villafranchien, et datant probablement du Pléistocène Moyen ou du début du Pléistocène Supérieur. De nombreuses controverses naquirent autour de la question de savoir si les os et les dents de l'*Eoanthropus* appartenaient au plus ancien ou au plus jeune de ces groupes. Quelques-uns affirmaient même que la mandibule et la canine étaient celles d'un singe du Villafranchien et que les os du crâne appartenaient à un homme beaucoup plus récent du genre *Homo*.

On détermina alors le contenu en fluor de tous les os et de toutes les dents dont on disposait provenant de Piltdown. Tous ceux que l'on savait indubitablement dater du Pléistocène Inférieur contenaient 2 à 3 % de fluor, tandis que ceux d'une époque certainement plus récente en contenaient beaucoup moins, pouvant atteindre des taux de moins de 0, 2 %. Les restes de l'*Eoanthropus*, comprenant tous les fragments du crâne, la mandibule, la molaire, la canine, et les restes d'un second individu trouvés à deux milles du site principal, contenaient extrêmement peu de fluor, 0,2 % en moyenne. Les restes associés de castor *(Castor fiber)* contenait cette même proportion minime de fluor. On put en conclure que tous les vestiges d'Eoanthropus étaient contemporains et qu'ils dataient du dernier remaniement du gravier qui eut peut-être lieu au Pléistocène Moyen, mais plus probablement au début du Pléistocène Supérieur (Riss-Würm ?). En comparaison avec celles de Swanscombe, les eaux de Piltdown étaient évidemment fort pauvres en fluor.

Pour montrer comment en pratique est utilisée cette méthode d'analyse du fluor, prenons l'exemple d'un crâne humain trouvé dans des graviers à ossements. On peut se demander si ce crâne est bien contemporain du gravier ou s'il y a été enfoui à une date postérieure.

Il faut alors établir en premier lieu que les os que l'on sait avec certitude être contemporains du gravier contiennent un taux appréciable de fluor. S'ils n'en contiennent pas plus de 0,1%, il est peu probable que la comparaison avec le crâne puisse donner des résultats concluants. Si les résultats de cette analyse préalable d'un ou deux échantillons d'os semblent justifier une étude complète, il faut alors procéder à la détermination de la marge probable des variations du taux du fluor contenu : 1° dans les os appartenant à l'époque à laquelle l'échantillon douteux est supposé appartenir ; 2° dans des os de la même région plus jeunes que le dépôt qui contient le crâne. En récoltant les séries d'échantillons d'os et de dents d'âge connu provenant du site, il est important d'y comprendre des spécimens provenant de toutes les sortes de roche représentées (car des os contenus dans de l'argile par exemple contiendraient un peu moins de fluor que s'ils se trouvaient en terrain sableux) ; et il est important aussi que dans les échantillons analysés soit représentée la gamme de variation de porosité (car un os lacuneux peut avoir une teneur en fluor un peu plus élevée qu'une dentine compacte). Il serait idéal de pouvoir recueillir des séries comparatives d'une dizaine d'échantillons ou plus pour chaque groupe d'âge étudié.

Les échantillons soumis à l'analyse doivent peser chacun 100 milligrammes ou plus, quoique des déterminations aient pu être faites sur des quantités inférieures. Pour recueillir des échantillons utilisables le mieux est d'utiliser une fraise de dentiste. Lorsque cela est possible on prélève plusieurs échantillons sur l'ossement dont il s'agit de déterminer l'antiquité.

Séries d'ossements provenant des graviers du Pléistocène Moyen de Swanscombe, Kent.

Pourcentage en fluor d'os datant du Pléistocène Moyen	*Pourcentage en fluor d'os d'époques variées*
2,0 %	Crâne de Swanscombe :
2,8 %	1,9 %
2,1 %	2,0 %
2,3 %	
1,7 %	Squelette de Galley Hill :
2,3 %	0,2 %
2,0 %	0,4 %
1,7 %	0,4 %
2,2 % (1)	0,4 %
2,2 % (1)	0,3 %
2,3 % (1)	Os du Pléistocène Supérieur (10)
2,6 % (1)	0,9 %
	Os post-pléistocènes (5) :
	0,4 %

(1). Fragments de bois de cervidés choisis pour varier les textures.

L'analyse des séries d'échantillons osseux ainsi constituées indiquera la marge probable des variations en fluor pour chaque groupe d'âge représenté dans le gisement ; le contenu en fluor du crâne d'antiquité douteuse peut être interprété en conséquence (voir tableau p. 202).

***

Le fluor ne peut servir de critère pour déterminer l'antiquité relative d'ossements provenant des régions tropicales, car les conditions de climat y peuvent produire des minéralisations extrêmement rapides et variables (particulièrement dans les sols d'origine volcanique). D'autre part, des recherches récentes ont montré que la méthode n'était pas applicable lorsque les os ont été brûlés, ni lorsqu'ils se sont trouvés pris dans de la stalagmite ou du travertin.

Excepté peut-être dans les régions où le fluor est abondant (et le taux d'absorbtion par les os par conséquent élevé), il n'est généralement pas possible par cette méthode de distinguer clairement des os dont les différences d'âge sont inférieures à 10.000 ans environ. Ainsi dans une région où l'abondance en fluor est modérée, il ne serait probablement pas possible d'utiliser cette méthode pour séparer des os gallo-romains d'os néolithiques (à moins peut-être par l'étude statistique d'un grand nombre d'analyses), parce que la marge des variations de la teneur en fluor dans les deux groupes se superpose, alors que dans la même région on ne trouverait aucune superposition appréciable dans les marges des variations en fluor des os datant du Paléolithique Ancien et de ceux datant par exemple du Paléolithique Supérieur.

Comme l'abondance du fluor varie selon les milieux, il est impossible d'utiliser la méthode pour déterminer l'âge relatif d'ossements recueillis dans des localités très éloignées. Par exemple l'analyse a donné les mêmes résultats pour des ossements de l'Age du Bronze provenant d'une région de l'Essex riche en fluor et pour des os du Paléolithique Moyen provenant d'une région du Kent où cet élément est beaucoup moins abondant dans les eaux du sol. Pour cette raison lorsque l'on trouve un crâne d'âge douteux dans un site où il n'y a pas d'ossements d'âge connu pouvant servir de termes de comparaison, il est généralement complètement inutile, ou presque, de déterminer son contenu en fluor. [1]

KENNETH P. OAKLEY
BRITISH MUSEUM (natural History), London.

1. Voir appendice p. 322-323

CHAPITRE IX

LE C^{14}

LA DATATION DES MATÉRIAUX ARCHÉOLOGIQUES ET GÉOLOGIQUES PAR LEUR CONTENU EN CARBONE RADIOACTIF. [1]

Carbone ordinaire et C^{14}.

Le noyau du carbone ordinaire (C^{12}) que l'on trouve normalement dans la nature est constitué de 6 protons et de 6 neutrons. C'est un élément stable, c'est-à-dire qu'il n'est pas radioactif ; il comprend 98,9 % de tout le carbone de la terre. Dans les couches supérieures de l'atmosphère où a lieu un continuel bombardement par des radiations venant de l'espace, les données de la physique nucléaire indiquent que les neutrons sont produits par la collision des rayons cosmiques et des éléments de l'atmosphère. Ces neutrons produisent du carbone radioactif (C^{14}) à partir de l'azote de l'atmosphère de masse 14 suivant la réaction :

$$\text{neutron} + N^{14} = \text{proton} + C^{14}$$

Or le C^{14}, par réaction avec l'oxygène de l'atmosphère, est rapidement transformé en gaz carbonique radioactif, un composé du C^{14}, et il entre dans la composition de toute matière vivante,[2] car la plupart des neutrons sont effectivement formés et recapturés dans la moitié ou les deux tiers supérieurs de l'atmosphère. Comme l'âge de la terre est beaucoup plus grand que la durée de vie du C^{14}, le Dr Libby, en 1946[3], émit l'hypothèse

1. L'auteur est profondément reconnaissant au professeur Libby de l'aide et des suggestions qu'il lui a apportées pour l'établissement du texte de cette étude. Les recherches relatives au C^{14} ne datent que de quelques années et évoluent donc rapidement. Mais si des résultats nouveaux ont pu être acquis depuis la rédaction de ce chapitre, en juin 1950, le principe de la méthode et les modalités d'applications, qui en forment l'essentiel, restent entièrement valables.

2. Grosse (A. V.) et Libby (W. F.), *Cosmic Radiocarbon and Natural Radioactivity of Living Matter*. Science, vol. 106, n. 2743 (1947), p. 88.

3. Libby (W. F.), *Atmospheric Helium Three and Radiocarbon from Cosmic Radiation*. The Physical Review, vol. 69, n. 11 et 12 (1946), p. 671.

« d'un équilibre radioactif dans lequel le taux de désintégration du C^{14} serait égal au taux de production, Q ». Il était convaincu que la quantité de carbone radioactif restait en équilibre en raison du taux constant de destruction de l'élément C^{14} qui a existé et continue d'exister aussi bien dans la *biosphère* (ensemble de la substance vivante des règnes animal et végétal) que dans les carbones inorganiques en dissolution de l'*hydrosphère* (océans, mers, lacs et rivières), et du flux de nouveaux atomes de C^{14}. En d'autres termes « le nombre d'atomes de C^{14} disparaissant par seconde par suite de l'émission de particules *béta* doit être égal au nombre de ceux qui sont formés par seconde »[1].

Des expériences ont montré que la moitié de n'importe quelle quantite donnée de C^{14} se dégrade en carbone ordinaire de masse 12 en une duréé de 5.568 ± 30 années[2], c'est ce qu'on appelle la période de demi-transformation, ou simplement la « période », de l'élément instable C^{14}.[3] Des calculs plus poussés des données géochimiques conduisirent les atomiciens à reconnaître qu'il n'y a dans toute la nature que 80 tonnes environ de carbone radioactif, et que cette quantité reste constante. La période du C^{14} est bien assez longue pour que, comme l'établirent les docteurs Anderson et Libby « une distribution à peu près uniforme de C^{14} s'établisse à travers toute la matière vivante du monde ».[4]

Sur ces bases ils calculèrent que l'on devait trouver « $0{,}3 \cdot 10^{-12}$ grammes de carbone radioactif par gramme de carbone vivant, ou que l'activité spécifique du carbone vivant devait être de trois particules *béta* par minute et par gramme. La précision de cette estimation dépend de la précision avec laquelle le taux de production de neutron, Q, et la quantité de matière vivante et échangeable sont connus. L'erreur pour la valeur Q peut être de l'ordre du simple au double ou au triple, et la quantité de carbone vivant et échangeable peut ne pas être connue avec une précision de plus

1. Anderson (E. C.), Libby (W. F.), Weinhouse (S.), Reid (A. F.), Kirshenbaum (A. D.) et Grosse (A. V.), *Natural Radiocarbon from Cosmic Radiation*. The Physical Review, vol. 72, n. 10 (1947), p. 931-936.

2. Engelkemeir (A. G.), Hamill (W. H.), Inghram (M. C.) et Libby (W. F.), *The Half-Life of Radiocarbon (C14)*, The Physical Review, vol. 75, n. 12 (1949), pp. 1825-1833.

Les premières expériences avaient donné un chiffre approximatif de 5.000 années. Depuis que ce chapitre a été écrit cependant une nouvelle valeur de 5.568 + 30 années a été établie à partir des résultats suivants :

5.580 ± 45 années (Engelkemeir et Libby, Review of Scientific Instruments, vol. 21, n. 6, 1950, p. 550),
5.589 ± 75 années (Jones, The Physical Review, vol. 76, n. 7, 1949, pp. 885-889).
5.513 ± 165 années (Miller, Ballentine, Bernstein, Friedman, Nier et Evans, The Physical Review, vol. 77, n. 5, 1950, pp. 714-715).

La valeur de 5.568 ± 30 années qui est actuellement regardée comme la plus adéquate est obtenue ec prenant la moyenne des trois valeurs et en pondérant chacune d'elles d'après la racine carrée inverse des erreurs correspondantes. Ce procédé de correction de la moyenne est utilisé étant donné que la racine carrée inverse des erreurs est proportionnelle au nombre des mesurations faites.

3. Norris (W. D.) et Inghram (M. G.), *Half-Life Determination of Carbon (14) with a Mass Spectrometer and Low Absorption Counter*. The Physical Review, vol. 70, n. 9 et 10 (1946), p. 772-773.

Reid (A. F.), Dunning (J. R.), Weinhouse (S.) et Grosse (A. V.), *Half-Life of C^{14}*. The Physical Review, vol. 70, n. 5 et 6 (1946), p. 431.

4. Voir Anderson, Libby, etc., 1947, p. 932.

du simple au double, en particulier parce que l'on connaît mal la valeur correspondante à la biosphère. On peut donc supposer que les limites de l'activité spécifique du carbone radioactif sont comprises entre 1 et 10 désintégrations par minute et par gramme. La valeur indiquée ici (voir plus loin) est 10,5 et s'accorde bien avec ces données. » Ce taux de destruction semble constant sous toutes les conditions physiques dont nous ayons connaissance.

Les premières recherches.

Les premières recherches furent faites sur du gaz méthane (biométhane) provenant des boues de la Petapsco Sewage Plant (usine pour le traitement des boues d'égoût) de la cité de Baltimore par les docteurs Anderson et Libby de l'Institute for Nuclear Studies de l'Université de Chicago, et par les docteurs Weinhouse, Reid, Kirshenbaum et Grosse de la Houdry Process Corporation à Marcus Hook, en Pennsylvanie[1]. Le méthane des boues fut choisi pour ces expériences parce que c'est un composé simple du carbone, venant juste de sortir du cycle de la vie. Des échantillons de carbone furent préparés par la dissociation de 600 litres de ce produit, et, à l'aide d'un compteur Geiger, on trouva qu'il émettait $10{,}5 \pm 1$ particules par minute et par gramme de carbone.

En tenant compte des sources probables d'erreur, ce résultat expérimental coïncide bien avec les valeurs théoriques précédemment calculées. Certains envisagèrent que le C^{14}, trouvé dans les égoûts de Baltimore, était dû à une contamination. Cette hypothèse est très invraisemblable :

Notre échantillon fut prélevé le 2 septembre 1946, à une époque où, d'après le Dr P. C. Aebersold (de l'Isotopes Research Branch à Oak Ridge), aucun C^{14} de la Commission de l'Energie Atomique n'avait été reçu par personne à Baltimore, écrivent les docteurs Anderson et Libby. La possibilité que ce C^{14} provienne des piles ou des bombes atomiques est d'ailleurs exclue quand on réalise que nos recherches ont porté sur une quantité de C^{14} de loin beaucoup trop importante pour avoir pu être produite à cette date par aucune source synthétique[2].

Les docteurs Arnold et Libby ont publié[3] un résumé de la technique actuellement employée pour l'étude des échantillons de bois.

La technique de mesure consiste à brûler une once (30 gr.) environ de bois, à recueillir le gaz carbonique, à le réduire à chaud par du magnésium en carbone simple, et à mesurer 8 grammes de ce carbone répandu uniformément sur la surface

1. Anderson (E. C.), Libby (W. F.), Weinhouse (S.), Reid (A. F.), Kirshenbaum (A. D.) et Grosse (A. V.), *Radiocarbon from Cosmic Radiation*. Science, vol. 105, n. 2735 (1947), p. 576.

2. Voir ci-dessus Anderson, Libby, Weinhouse, etc. Science, vol. 105, n. 2735, 1947, p. 576 et The Physical Review, vol. 72, n. 10, 1947, p. 935.

3. Arnold (J. R.) et Libby (W. F.), *Age Determination by Radiocarbon Content : Checks with Samples of Known Age*. Science, vol. 110, n. 2869 (1949), p. 678-680.

de 400 cm^2 du cylindre à échantillon dans un compteur à paroi-écran[1]. Le comptage à vide fut réduit pendant la dernière partie du travail à 7,5 impulsions par minute, ce qui correspond à deux pour cent environ du comptage à vide sans écran de protection. Cette réduction fut effectuée en employant un blindage de quatre pouces (100 mm.) de fer à l'intérieur de deux pouces (50 mm.) d'écran de plomb, plus onze compteurs anti-coïncidence de deux pouces de diamètre et de dix-huit pouces (460 mm.) de long, placés symétriquement autour de la paroi de travail du compteur à l'intérieur du blindage. La partie sensible du compteur à paroi-écran avait une longueur de huit pouces (200 mm.), ce qui permettait aux compteurs anti-coïncidence de protection d'assurer une protection convenable aux extrémités. On n'employa pas de compteurs d'extrémité.

Des recherches récentes,[2] ayant montré qu'aux pôles la surface de la terre reçoit environ trois fois plus de rayons cosmiques qu'à l'équateur[3], le Dr Libby et ses collègues, avant de pousser plus loin les expériences, voulurent étudier cette source possible d'erreurs : il devenait vraisemblable, en effet, que la concentration en C^{14} d'un échantillon organique variât en fonction de la latitude de son habitat. Des échantillons de bois provenant des différentes parties du monde furent donc mesurés[4] et donnèrent les résultats suivants :

Echantillon	*Désintégration du carbone par minute et par gramme*
Bois de fer, Iles Marshall	11,5 ± 0,6
— —	12,6 ± 1,0
Orme, parc de l'Université de Chicago	12,7 ± 0,8
— —	11,9 ± 0,7
Pin, Mont Wilson, Nouveau Mexique (altitude 10.000 pieds)	12,5 ± 0,6
Bois de Bolivie	13,5 ± 0,6
—	11,3 ± 0,8
Bois de Ceylan	12,5 ± 0,7
Bois de la Terre de Feu	12,8 ± 0,5
Bois de Panama	13,0 ± 0,5
Bois de Palestine	12,4 ± 0,4

1. Libby (W. F.), *Radioactivity of Neodymium and Samarium*. The Physical Review, vol. 46, n. 3 (1934), p. 196-204.
Libby (W. F.) et Lee (D. D.), *Energies of the Soft Beta-Radiations of Rubidium and other Bodies. Method for their Determination*. The Physical Review, vol. 55, n. 3 (1939), p. 245-251.
2. Simpson (J. A. Jr), *Neutron Polarization*. The Physical Review, vol. 73, n. 11 (1948), p. 1277-1290.
3. Voir aussi Arrhenius (Olof), *Aldersbestamning med Radioaktivt Kol*. Fornvannen, vol. 44 (1949), p. 246-247. Résumé anglais, p. 255.
4. Libby (W. F.), Anderson (E. C.) et Arnold (J. R.), *Age Determination by Radiocarbon Content : World-Wide Assay of Natural Radiocarbon*. Science, vol. 109, n. 2827 (1949), p. 227-228.

Bois de Suède	12,6	±	0,5
Bois des Nouvelles Galles du Sud	13,3	±	0,4
Bois d'Afrique du Nord	11,9	±	0,4
Moyenne[1]	12,5	±	0,2

Les chiffres donnés dans ce tableau montrent bien que des échantillons de bois de n'importe quelle partie du monde contiennent une quantité de C^{14} à peu près identique. En se basant sur les résultats très satisfaisants de cet étalonnage mondial, le Dr Libby et ses collègues purent considérer cette identité comme suffisamment établie.

Ainsi les organismes vivants contiennent une quantité constante de C^{14}, et, dans les limites de l'erreur expérimentale qui peut atteindre 10 %, cette quantité peut être mesurée par un nombre de désintégrations par minute et par gramme de carbone. Ce fait conduisit les docteurs Libby et Arnold à vérifier leur seconde proposition, qui est basée sur le fait que lorsqu'une plante ou un animal meurt, le processus d'acquisition du carbone radioactif de l'atmosphère cesse. En d'autres termes, l'organisme n'acquiert plus aucun C^{14} additionnel, et, en dehors des altérations inorganiques, les échanges chimiques avec le milieu sont interrompus. A la mort d'une plante ou d'un animal, le C^{14} n'étant plus remplacé, sa concentration se met à décroître avec la période constante de demi-transformation. Comme on connaît la concentration primitive (12,5 ± 0,2 par minute et par gramme de carbone) et la valeur de la période de demi-transformation (5.568 ± 30 années), il est possible de calculer l'activité résiduelle du C^{14} d'après n'importe quel laps de temps donné qui se serait écoulé depuis la mort de l'organisme. Naturellement, pour que ce calcul soit possible, il faut que pendant toute la période qui s'est écoulée depuis que l'échantillon a été retiré du cycle de la vie, il n'ait pas été « contaminé », soit à la suite d'un contact avec un corps contenant un carbone étranger, soit par déplacement du C^{14}. Car les résultats n'auront de précision que dans la mesure où le processus de destruction s'est poursuivi régulièrement depuis la mort de l'échantillon.

1. En ce qui concerne l'écart apparent entre les chiffres de 10,5 obtenu sur les échantillons de méthane de Baltimore et cette moyenne de 12,5 obtenue sur les bois, le Professeur Libby écrit dans une lettre du 1er juin 1950 : « Je dois vous informer qu'aucun de ces chiffres n'est exact, mais que nos connaissances actuelles donnent 15,3 pour les matériaux organiques et 16,2 pour les carbonates ou les coquilles. J'espère que ceci n'est pas trop confus. La réalité est qu'il nous a fallu étalonner nos compteurs sur une base absolue pour donner ce chiffre, et ce changement d'étalonnage survenu au cours des recherches d'approfondissement a causé cette perturbation. Cela ne signifie pas que nous ayons obtenu aucune variation dans la réponse de nos appareils à un morceau de bois moderne ; c'est seulement que le facteur de multiplication employé pour obtenir des nombres absolus est différent de ce que nous avions admis. Pour des raisons de commodité nous avons rapporté tous nos nombres à la valeur 12,5, qui correspond à ce que nous avons déjà publié, et je suggère que vous en fassiez autant dans votre chapitre, en attendant la parution d'un article que nous venons de communiquer à « The Physical Review », consacré à la question d'une base internationale absolue. » Cette étude éclaircit la question et le lecteur intéressé pourra s'y reporter ; elle a été publiée pendant que ce chapitre était sous presse. Voir Anderson (E.C.) et Libby (W. F.), *World-Wide Distribution of Natural Radiocarbon*, The Physical Review, vol. 81, n. 1 (1951), pp. 64-69.

On voit l'extraordinaire importance de cette méthode pour déterminer l'âge de certains types d'échantillons archéologiques et géologiques. Son intérêt fut signalé par Merrill dès 1948, et par divers autres auteurs par la suite[1]. De plus le Dr Libby et ses collègues pensent que des mesures directes, sans enrichissement isotopique du carbone, donneront des valeurs pouvant remonter aussi loin que deux ou trois fois la période de demi-transformation du C^{14}, rendant ainsi possible le calcul de l'"âge" d'échantillons dans lesquels le C^{14} aura été réduit au quart ou au huitième de sa valeur primitive. Cet âge correspond à une durée de 11.500 à 17.000 années.[2]

La datation de bois d'âge connu.

L'examen de deux échantillons de bois d'âge bien déterminé provenant d'anciennes tombes de l'Egypte, marquèrent une nouvelle étape dans les recherches du Dr Libby et de ses associés. L'un des échantillons était de l'acacia provenant de la tombe de Zoser à Sakkara (fourni par le Metropolitan Museum de New York), l'autre du cyprès provenant de la tombe

1. Merrill (R. S.), *A Progress Report on the Dating of Archaeological Sites by Means of Radioactive Elements.* American Antiquity, vol. 13, n. 4 (1948), p. 281-286.

Voir aussi Braidwood (R. J.), Jacobsen (Thorkild), Parker (R. A.) et Weinberg (Saul S.), *Age Determination of Archaeological Material.* Amer. Jour. Arch., vol. 54, n. 3 (1950), p. 266-267.

Childe (V. G.), *Comparison of Archaeological and Radiocarbon Datings,* Nature, vol. 166, n. 4234 (1950), pp. 1068-1069.

Collier (Donald), *New Radiocarbon Method for Dating the Past.* Bull. Chicago, Nat. Hist. Mus., vol. 22, n. 1 (1951), p. 6-7.

Cornwall (I. W.), *Dating by the C^{14} Method.* The Archaeological News Letter, vol. 2, n. 11 (1950), p. 177-178 ; et *ibid.*, vol. 3, n. 1 (1950), p. 6.

Crawford (O. G. S.), *Editorial Notes : Dating Archaeological Specimens by means of their Radiocarbon Content.* Antiquity, vol. 23, n. 91 (1949), p. 113-114.

Flint (R. F.), *Pin-Pointing the Past with the Cosmic Clock,* Natural History (Mag. Amer. Mus. Nat. Hist.), vol. 60, n. 5 (1951), pp. 200-206.

Flint (R. F.) et Deevey (E. S., Jr.), *Radiocarbon Dating of Late-Pleistocene Events,* American Journal of Science, vol. 249 (1951), pp. 257-300.

Gates (D. M.), *Dating of Archaeological Materials by Means of Radioactive Carbon.* Southwestern Lore, vol. 16, n. 1 (1950), p. 1-4.

Movius (H. L. Jr), *Age Determination of Archaeological and Geological Material by Radiocarbon Content.* Antiquity, vol. 24, n. 94 (1950), p. 99-101.

Ibid., *Détermination de l'âge des matériaux archéologiques et géologiques d'après leur teneur en radiocarbone.* L'Anthropologie, t. 54, n. 1-2 (1950), p. 175-178.

Ibid., *Alterbestimmung durch Radiocarbon-Gehal. Die Kunde,* N. F. 2, Heft 1 (1951), pp. 1-4.

Zeuner (F. E.), *Dating the Past by Radioactive Carbon.* Nature, vol. 166, n. 4227 (1950), p. 756-757.

2. Anderson, Libby, Weinhouse, etc., *The Physical Review,* vol. 72, n. 10, 1947, p. 936.

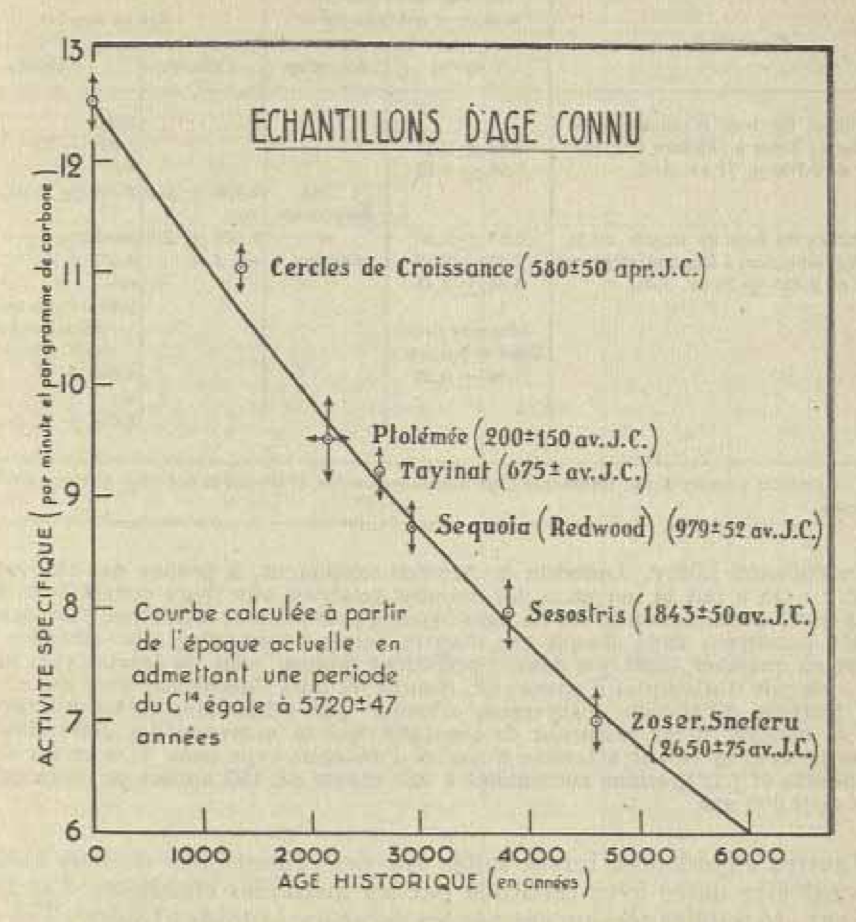


FIG. 40. — *Activités spécifiques d'échantillons d'âge connu* (d'après Arnold et Libby, Science, vol. 110, n° 2869, 1949. Fig. 1).

Erratum — Lire Tayinat (675 ± 50 avant J. C.)

de Sneferu à Meydum (fourni par le University of Pennsylvania Museum de Philadelphie). Voici le tableau des résultats obtenus :

Echantillons	*Activité spécifique par minute et par gramme de carbone*		*Age en années*[a]	
	Trouvée	Attendue	Trouvé	Attendu
Echantillon de bois d'acacia de la tombe de Zoser à Sakkara (Egypte) daté de 2.700 ± 75 av. J.-C.	7,88 ± 0,74 7,36 ± 0,53			*Zoser* : 4.650 ± 75 ou : 2.700 ± 75 av. J.-C.
		7,15 pour Zoser et Sneferu	4.750 ± 250 ou : 2.801 ± 250 av. J.-C.	
Echantillon de bois de cyprès de la tombe de Sneferu à Meydum (Egypte) daté de 2.625 ± 75 av. J.-C.	6,95 ± 0,40 7,42 ± 0,38 6,26 ± 0,41			Sneferu : 4.575 ±75 ou : 2.625 ± 75 av. J.-C.
	Moyenne pour Zoser et Sneferu : 7,04 ± 0,20			*Moyenne pour Zoser et Sneferu* : 4.600 ± 75 ou : 2.656 ± 75 av. J.-C.

a. Le premier nombre donné représente l'âge absolu en années, le second la datation par rapport à l'ère chrétienne.

Les docteurs Libby, Anderson et Arnold[1] expliquent, à propos des chiffres ci-dessus : « On a fait la moyenne des données relatives aux deux échantillons étant donné que l'erreur commise sur les âges dépasse presque leur différence ; les données ont été pondérées dans chaque cas d'après l'erreur dont elles sont affectées. Les erreurs en question, ainsi que dans le précédent tableau, sont les écarts-types fondés sur les calculs statistiques d'erreur. Et, comme les faits s'accordent avec ces erreurs, nous pensons qu'aucune autre cause d'erreur que celles considérées n'intervient dans la mesure. Il est rassurant de constater que la moyenne des déterminations s'accorde avec la valeur attendue à moins d'un écart-type près. Une erreur de 0,4 par minute et par gramme correspond à une erreur de 450 années pour un échantillon de 4.600 ans.

D'autres expériences furent faites sur des échantillons de bois anciens, pouvant être datés avec certitude par les méthodes classiques. Les résultats ont été publiés récemment par les docteurs Arnold et Libby[2]. Les faits obtenus peuvent être exprimés sous forme de graphique (*fig.* 40). Les faits saillants relatifs à chaque échantillon, et les mesures obtenues dans chaque cas sont résumées dans le tableau ci-dessous.

1. Libby, Anderson et Arnold, 1949, p. 228.
2. Arnold et Libby, 1949.

Echantillons	Activité spécifique par minute et par gramme de carbone		Age en années[a]	
	Trouvée	Attendue	Trouvé	Attendu
Echantillon de sapin (Douglas Fir) trouvé dans les fouilles de la grotte de Broken Flute, Red Rock Valley, Arizona. L'étude des cercles de croissance indique que le cercle intérieur date de 530 après J.-C. et que l'arbre a été coupé en 623. *Moyenne* : 577 après J.-C.	11,10 ± 0,31 11,52 ± 0,35 11,34 ± 0,25 10,15 ± 0,44 11,08 ± 0,31 *Moyenne* : 10,99 ± 0,15	10,65	1.100 ± 150 ou : 849 ± 150 après J.-C.	1.372 ± 50 ou : 577 ± 50 après J.-C.
Bois d'un cercueil égyptien en forme de momie daté d'après son style de la période de Ptolémée, de 332 à 30 avant J.-C. *Moyenne* : 200 avant J.-C	9,50 ± 0,45[b]	9,67	2.300 ± 450 ou : 351 ± 450 avant J.-C.	2.149 ± 150 ou : 200 ± 150 avant J.-C.
Deux fragments de *Pinus halepensis* (Aleppo Pine) du plancher de la chambre centrale d'un palais Syro-Hittite à Tayinat dans le Nord-Ouest de la Syrie. En se basant sur un objet corinthien importé et sur les faits historiques, on peut situer cet échantillon entre 725 et 625 avant J.-C. *Moyenne* : 675 avant J.-C.	8,97 ± 0,31 9,03 ± 0,30 9,53 ± 0,32 *Moyenne* : 9,18 ± 0,18[c]	9,10	2.600 ± 150 ou : 651 ± 150 avant J.-C.	2.624 ± 50 ou : 675 ± 50 avant J.-C.
Fragment de l'intérieur d'un *Sequoia gigantea* (Redwood) abattu en 1874. Cet arbre connu sous le nom de Centennial Stump a été décrit par Douglas[d]. Dans l'échantillon analysé, la séquence des cercles de croissance allait de 1.031 à 928 avant J.-C. *Moyenne* : 979 avant J.-C.	8,81 ± 0,26 8,56 ± 0,22 *Moyenne* : 8,68 + 0,17	8,78	3.005 ± 165 ou : 1.056 ± 165 avant J.-C.	2.928 ± 52 ou : 979 ± 52 avant J.-C.
Morceau de bordage d'un bateau funéraire du roi égyptien, Sesostris III, exposé au Museum of Natural History de Chicago et daté de 1.843 + 50 avant J.-C. Le bois est probablement du Cèdre du Liban.	7,73 ± 0,36 8,21 ± 0,50 *Moyenne* : 7,97 ± 0,30	7,90	3.700 ± 400 ou : 1.751 ± 400 avant J.-C.	3.792 ± 50 ou : 1.843 ± 50 avant J.-C.

a) Le premier nombre donné représente l'âge absolu en années, le second la datation par rapport à l'ère chrétienne.

b) Cet échantillon fut mesuré par les Drs Libby et Arnold vers le début de leurs recherches, alors que la sensibilité des appareils était moindre qu'actuellement. C'est pourquoi l'erreur est plus grande. De plus, une seule mesure fut effectuée.

c) On prit de grandes précautions pour la mesure de cet échantillon effectuée à l'aide de l'appareil le plus sensible. La concordance semble des plus satisfaisantes.

d) Douglass (A. E.), *Sequoia Survey. III : Miscellaneous Notes.* Tree Ring Bulletin, vol. 13, 1946, pp. 5-3,

Comme le montre le graphique de la figure 40, « l'accord entre les prévisions et les mesures est en somme fort satisfaisant »[1]. La discussion des erreurs relatives à la mesure des activités spécifiques donne lieu à d'intéressantes remarques :

Les erreurs en question sont les écarts-types calculés à partir des statistiques de Poisson relatives aux événements dus au hasard. Une des six valeurs moyennes (celle de l'échantillon de Douglas Fir), et sept des dix-sept mesures individuelles diffèrent de la valeur prévue de plus d'un écart-type. Comme dans une longue série de mesures, on peut s'attendre à ce que 32 % tombe en dehors de cette limite, nous pouvons en conclure que l'erreur statistique est la principale source de dispersion. Ainsi la déviation de l'échantillon de Douglas Fir ne peut être considérée comme significative.

Les erreurs notées dans la colonne « Age » (en années) du tableau ci-dessus comprennent les incertitudes dans la valeur (relative) de l'activité spécifique actuelle et dans la valeur de la période de demi-transformation du C^{14}.

Au cours des expériences des échantillons d'anthracite furent mesurés de temps en temps. Aucune radioactivité significative ne fut jamais trouvée. Ces mesures servirent à contrôler les sources possibles d'erreur par une contamination qui aurait pu être due soit aux produits chimiques utilisés, soit à l'exposition à l'air, impossible à éviter pendant les manipulations.

Ces résultats montrent que les deux principes de base de la méthode de datation par la radioactivité du carbone — c'est-à-dire la constance de l'intensité des radiations cosmiques et la possibilité d'obtenir des échantillons non altérés — sont probablement justifiés pour des bois ayant jusqu'à 4.600 ans. Le fait que les échantillons les plus anciens s'accordent avec la valeur prévue montre que l'intensité du rayonnement cosmique à été constant à 10 % près environ jusqu'à il y a 20.000 ans. Ceci est valable pour des variations portant sur de longs intervalles, de l'ordre de grandeur de la période du radiocarbone (5.720 + 47 années) ; il est évident que des variations portant sur des intervalles plus courts seraient noyés dans une moyenne et n'affecteraient pas les mesures.

L'échantillon de *Sequoia gigantea* offre un intérêt supplémentaire et qui lui est particulier. Le bois, en effet, a passé la plus grande partie de sa vie au cœur de l'arbre vivant. Si quelque échange chimique avait eu lieu pendant cette période dans le cœur du bois, la radioactivité spécifique se serait élevée au-dessus de la valeur trouvée. Ce qui prouve, autrement dit, que le cœur de ces arbres est réellement mort et ne participe plus à aucun des échanges métaboliques du reste de l'arbre. Ce qui n'étonne guère d'ailleurs la plupart des botanistes

Premiers essais d'application aux périodes préhistoriques.

Les recherches continuèrent, et continuent, à être activement poussées. Les premiers résultats, résumés ci-dessus, semblaient suffisamment prometteurs pour les justifier, et, depuis l'article qui, dans l'été 1949, annonçait les résultats de la détermination de l'âge d'échantillons d'âge connu,

1. Arnold et Libby, 1949, p. 679.

de grands progrès ont été faits[1]. Dès que le programme de recherches fut mis sur pied, le Dr Libby et ses collègues se firent assister par un Comité formé par la American Anthropological Association et par la Geological Society of America, avec Donald Collier, Richard Foster Flint et Froelich Rainey, et présidé par Frederick Johnson. « Le rôle de ce Comité était d'aider les physiciens de ses conseils pour la mise au point du processus et des objectifs du programme et pour le choix des échantillons d'âge connu à soumettre à ces mesures. » Mais quand on a voulu appliquer la méthode aux grandes périodes inconnues de la Préhistoire, il devint bien difficile de désigner des échantillons : au delà de 5.000 ans environ, il n'y a plus de date universellement acceptée.

Le Comité fit alors appel à un groupe d'archéologues et de géologues. Comme spécialistes de l'Ancien Monde, on choisit le Dr Robert J. Braidford de l'Oriental Institute de l'Université de Chicago pour les questions se rapportant au Proche et au Moyen-Orient, région égéenne et Egypte comprises ; le Dr Edward S. Deevey Jr. de l'Osborn Zoological Laboratary de l'Université Yale pour les questions de datation par les pollens et de paléobotanique ; et le Dr Hallam L. Movius Jr., du Peabody Museum de l'Université Harvard pour le Paléolithique Supérieur, le Mésolithique et les époques plus récentes d'Europe, d'Afrique et d'Asie moins l'Asie occidentale et la région orientale du bassin méditerranéen. Pour l'Ancien-Monde, les communications relatives à des échantillons *associés à des éléments connus* et que l'on voudrait soumettre à l'analyse, doivent être adressées, selon la nature du problème de datation et la région qu'il concerne, à l'un ou l'autre de ces trois collaborateurs.

Les prochaines recherches porteront essentiellement sur des matériaux datés de la dernière époque glaciaire ou des tout premiers temps du post-glaciaire, si l'on peut trouver ces matériaux en assez grande quantité pour que la méthode d'enrichissement isotopique puisse être convenablement appliquée. Les études portant sur des périodes plus récentes ne seront poursuivies que sur des échantillons archéologiques ou géologiques d'un intérêt intrinsèque et d'une importance exceptionnelle.

Actuellement l'étude de la radioactivité ne peut donner de résultats qu'à deux cents ans près, et son application n'a donc d'intérêt que pour les

1. Arnold (J. R.) et Libby (W. F.), *Radiocarbon Dates*. Science, vol. 113, n. 2927 (1951), pp. 111-120. Dans cet article sont données toutes les dates trouvées par le Professeur Libby avant le 1er septembre 1950. Un intérêt particulier s'attache aux résultats trouvés pour l'échantillon numéro 406, du charbon de bois recueilli par MM. l'Abbé H. Breuil et S. Blanc dans un niveau d'occupation du « puits » de la caverne de Lascaux, près de Montignac (Dordogne), et que l'on a daté de 15.516 $\pm$ 900 ou 13.566 $\pm$ 900 ans avant Jésus-Christ. La signification de cette date et de beaucoup d'autres qui ont été publiées récemment sera discutée par différents auteurs dans un numéro spécial d'American Antiquity, actuellement sous presse. En attendant, pour une discussion d'ensemble de la datation par le C^{14} des événements du Pléistocène Récent, on consultera un article de R. F. Flint et E. S. Deevey, *Jr.*, dans le *American Journal of Science* vol. 249 (1951), pp. 257-300.

périodes pré- ou protohistoriques. Il est évident qu'on ne peut l'appliquer à l'étude de problèmes historiques détaillés. Mais pour les époques anciennes la difficulté est souvent de se procurer une quantité suffisante de l'échantillon, qui, d'ailleurs, dans tous les cas, est *entièrement détruit par l'examen.* Comme il faut 10 grammes de carbone pour une seule mesure, et que deux mesures indépendantes *au moins* doivent être effectuées pour chaque échantillon, c'est environ 65 grammes de bois ou de charbon de bois qui sont nécessaires pour que l'on puisse en entreprendre l'étude, à condition bien entendu que ces matériaux soient secs et débarrassés d'impuretés. Les matériaux détériorés ou pulvérisés sont inutilisables.

Pour tous les autres types de restes végétaux — tourbe, lignite, graines, paille, herbes ou roseaux, fragments de nattes, de paniers ou de vêtements, etc., — un minimum de 200 grammes est nécessaire. Les mêmes chiffres sont valables pour des restes animaux épidermiques — peau, cuir, cheveux ou poils, ongles, griffes ou cornes — mais le minimum est de 500 grammes pour les bois de cervidés. La quantité nécessaire varie en fonction de la teneur en carbone; par exemple il faut 2 kg. 200 de dents — car, seul, l'émail est utilisable — d'ivoire ou d'os carbonisé, et 700 grammes de coquilles, à condition que celles-ci soient en parfait état de conservation. L'étude de l'os est peu prometteuse, et c'est grand dommage, car c'est la matière organique la plus abondante et la plus fréquente dans les gisements paléolithiques et néolithiques. L'os n'est utilisable que lorsqu'il a été carbonisé à l'état frais ; quand il a été entièrement brûlé, comme c'est le cas dans la plupart des incinérations préhistoriques, il perd tout intérêt car le carbone qu'il contenait a entièrement disparu. Dans les os sub-fossiles, dont le carbone n'a pas été fixé par un début de combustion, l'action du sol à travers sa substance poreuse est telle, que ce qui reste de matière organique est devenu à la fois trop peu abondant et de composition trop incertaine pour être soumis à l'analyse. Ainsi seuls restent utilisables les os légèrement carbonisés.

Les recherches sur la radioactivité du carbone, sont encore dans leur enfance. Les mesures déjà faites, ne sont que les premiers résultats d'une méthode incomplètement connue et dont toutes les possibilités ne sont pas encore épuisées. Mais les dates déterminées sont extrêmement prometteuses, et le travail qui doit être poursuivi mérite toute l'aide et la coopération que pourront lui apporter ceux qui travaillent dans les domaines de la préhistoire, de la protohistoire et de l'archéologie, aussi bien que dans ceux de la géologie glaciaire ou post-glaciaire. Jamais jusqu'ici aucune autre méthode ou technique de datation n'a été mise au point qui puisse donner des indications aussi précises sur certaines dates acceptées comme des dogmes, mais basées sur des données bien incertaines. Pour le Paléolithique Récent, en particulier, nos estimations ne sont guère fondées en dernière analyse que sur des considérations théoriques ou sur de profondes pensées... De nouvelles expériences sont en cours et jetteront peut-être quelques nouvelles clartés sur les périodes préhistoriques qui s'étendent

jusqu'à il y a une vingtaine de milliers d'années environ. Il faut espérer que pour les recherches relatives à cette phase du programme on pourra trouver une grande quantité d'échantillons utilisables provenant des gisements de l'Ancien Monde[1].

HALLAM L. MOVIUS, JR.
Peabody Museum
Harvard University.

1. Voir à l'appendice p. 324-326 le détail des précautions à prendre pour e choix et l'expédition d'échantillons.

CHAPITRE X

L'AIMANTATION THERMORÉMANENTE DES TERRES CUITES

Principes et expériences.

Qui eût jamais imaginé qu'une brique ou un tesson de poterie exhumés du sol contenaient, enregistrée dans leur masse, la date de leur cuisson ? C'est pourtant ce que nous laissent entrevoir des études, dont les premières datent de la fin du XIXe siècle, sur le magnétisme des terres cuites [1]. En effet les poteries, les briques et tous les minéraux contenant des composés du fer enregistrent le champ magnétique contemporain de leur cuisson et, sauf conditions exceptionnelles, le conservent ensuite indéfiniment. Comme le champ magnétique terrestre varie d'année en année et de siècle en siècle, il est théoriquement possible d'étudier la courbe de ses variations à partir de poteries d'âge connu, et, une fois cette courbe reconstituée, de déduire l'âge d'une poterie à partir de son aimantation. Le principe de cette méthode est, on le voit, différent dans sa nature même des principes des autres méthodes de datation. Pour les varves ou les cercles de croissance, on comptait une à une les marques laissées par les années ou les saisons, pour le fluor ou le C^{14} on évaluait avec plus ou moins d'exactitude le temps nécessaire pour qu'un phénomène chimique ou radioactif ait atteint tel ou tel point d'évolution. En étudiant le magnétisme thermorémanent des terres cuites, on évalue une valeur enregistrée une fois pour toutes, à la façon d'une date gravée sur un monument.

1. Voir la thèse de E. THELLIER, *Annales de l'Institut de Physique du Globe*, Paris, 1938, 16, pp. 157-302 d'où sont tirés une grande partie des renseignements de ce chapitre. M. E. THELLIER nous a en outre fait oralement d'intéressantes suggestion et a bien voulu relire ce chapitre et nous fournir les renseignements donnés dans l'appendice.

Si le principe de la datation des terres cuites par leur magnétisme est fort simple, la pratique en est minutieuse, les résultats complexes et encore incertains.

L'espace qui entoure la terre est un champ magnétique, fait d'expérience rendu sensible à tous par l'orientation dans une boussole d'une aiguille aimantée. Ce champ magnétique terrestre est défini par son *intensité*, actuellement de l'ordre de un demi gauss environ, et par son *orientation* à la fois dans le plan vertical *(inclinaison)* et dans le plan horizontal *(déclinaison)*. Par exemple l'inclinaison actuelle en France passe de 59 degrés à 66 degrés environ du Sud au Nord, et la déclinaison de 11 degrés Ouest à 5 degrés Ouest environ de l'Ouest à l'Est. Les trois valeurs caractéristiques du champ magnétique terrestre (intensité, inclinaison, déclinaison) en un lieu ne sont constantes ni dans le temps, ni dans l'espace. Pour l'étude de la répartition dans l'espace, il n'est que de mesurer (réseaux magnétiques) ; mais les variations dans le temps ne sont actuellement connues que pour une durée très limitée car ce n'est que récemment que l'on a commencé à faire des mesures systématiques.

L'usage de la boussole dans la navigation remonte au XIIIe siècle, mais les premières observations ne furent sans doute pas très rigoureuses, et pour la France la déclinaison n'est connue avec quelque précision que depuis 1550 environ, l'inclinaison depuis 1770 et l'intensité du champ depuis 1840. Il serait intéressant de pouvoir prolonger les trois minimes fragments de courbe ainsi obtenus : on pourrait alors déterminer le champ magnétique en un point donné à une date donnée, et inversement d'une telle valeur déduire une date. Mais les observations s'étendent sur des laps de temps beaucoup trop courts pour que l'on puisse oser la moindre extrapolation et il est impossible de dire si, comme on l'a cru, la variation d'orientation a une périodicité d'environ 500 ans. On a quelque raison de croire que la variation de l'intensité est linéaire et constamment décroissante, mais il ne s'agit que de présomption et non de certitude. On ne possède en somme que bien peu d'éléments sur l'évolution du champ magnétique terrestre, et rien qui permette de tirer des conclusions applicables à un passé même récent. Ce champ pourtant s'inscrit dans le sol ou le sous-sol terrestre de différentes manières. Il ne s'agit que de le déchiffrer.

Plusieurs possibilités s'offrent au géophysicien. Seules celles qui intéressent directement l'archéologue ou le préhistorien seront envisagées ici.

C'est à la fin du XIXe siècle que les géophysiciens eurent l'idée d'utiliser l'aimantation acquise par les terres cuites et les roches volcaniques au cours de leur refroidissement pour tenter de trouver quelques données sur l'histoire du champ magnétique terrestre. Les recherches portèrent d'abord sur la direction du champ en s'appuyant sur le principe que la direction du moment magnétique que l'on observe sur le corps étudié est celle qu'avait le champ terrestre au moment du refroidissement.

Reprenant une idée ancienne mais encore jamais exploitée, un savant italien, Folgheraiter, à la fin du XIXe siècle, avait étudié de ce point de vue des vases dont les âges s'échelonnaient du VIe siècle avant J.-C. au IIe siècle après. Les vases sur lesquels portèrent ces expériences étaient riches en ornements et en figures latérales, avaient un bec très relevé, ou une anse sur la bouche et par conséquent, pensait-il, ne pouvaient avoir été cuits que dans une position verticale et avec le fond en bas. Il put ainsi déterminer les inclinaisons de l'aimantation sur la face supposée horizontale à la cuisson. L'examen porta sur une série de vases étrusques, une série de vases grecs, des poteries d'Arezzo et des vases de Pompéi. Folgheraiter trouva que les vases étrusques indiquaient pour le VIIIe siècle avant l'ère chrétienne, en Italie centrale, une inclinaison faible mais nettement australe (pôle sud sous l'horizon) ; les vases grecs montraient une inclinaison également faible et australe au VIIe siècle avant J.-C., nulle au début du VIe siècle, enfin boréale et voisine de 20 degrés au IVe siècle avant J. C. Les poteries d'Arezzo témoignaient d'une inclinaison boréale voisine de 60 degrés pour la première moitié du premier siècle avant J.-C., et les vases pompéien montraient que cette grandeur atteignait 66 degrés 5 vers la fin du premier siècle de l'ère chrétienne.

Un peu plus tard, P. Mercanton entreprit des recherches analogues sur des vases de palafittes du Musée de Lausanne et sur des vases de Hallstatt du Musée de Münich. Il trouva des résultats opposés à ceux de Folgheraiter (inclinaisons fortes et boréales vers les IXe-VIIe siècles avant J.-C.). Ces résultats divergents pouvaient être dus à des causes diverses : imprécision des mesures, fausse orientation de cuisson de la poterie, surtout modification ou annulation du magnétisme dûe à un long séjour dans l'eau, et ne pouvaient être considérés comme un échec définitif de la méthode. Quelques autres expériences furent tentées sans donner de résultats vraiment satisfaisants.

A partir de 1930, E. Thellier, de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris, reprit la question et chercha d'abord à en préciser

les principes, admis jusqu'alors sans véritable vérification. La mise au point d'un appareil permettant la mesure des aimantations faibles et une longue étude systématique des propriétés des terres cuites lui permirent d'abord de contrôler que la direction du moment magnétique que l'on observe sur une terre cuite donnée est bien celle qu'avait le champ magnétique terrestre au moment du refroidissement. De multiples expériences faites sur des terres cuites en laboratoire montrèrent que l'aimantation acquise par celles-ci croissait en même temps que le champ magnétique auquel elles étaient soumises au cours du refroidissement, et que, pour les champs très faibles, inférieurs à un gauss, ce qui est heureusement le cas pour le champ terrestre, il y avait proportionnalité. On peut donc tenir pour acquis qu'une terre cuite enregistre en intensité et en direction le champ magnétique terrestre dans lequel elle se refroidit, et les essais déjà anciens faits dans ce sens gardent toute leur valeur.

Les principes posés, E. Thellier entreprit de longues séries de mesures systématiques sur des briques provenant de monuments français d'âge connu. Des résultats intéressants furent ainsi établis. Une série de six lots d'une vingtaine de briques chacun (on opère toujours sur des échantillons assez nombreux pour pouvoir corriger les erreurs accidentelles) ont permis de tracer une courbe donnant la variation probable de l'inclinaison à Paris depuis l'époque actuelle jusque vers 1400. Cette courbe a donné un maximum de 74 degrés 30 environ vers 1730. D'autres séries étudiées par la suite confirment ces résultats. Leur ensemble s'accorde avec ceux que donne la longue série des mesures de Londres.

L'intensité, et non plus l'orientation, du champ magnétique terrestre dans le passé fut également étudiée à partir de matériaux gallo-romains, des fragments de briques anciennes prélevées sur l'amphithéâtre de Fréjus et les Thermes de Julien (Musée de Cluny de Paris) [1]. Malheureusement les deux intensités trouvées, 0,66 et 0,71 gauss se rapportent à des dates qu'il a été impossible de préciser car les archéologues ne sont pas d'accord sur l'âge des documents étudiés, et il est bien difficile de trouver en France des constructions gallo-romaines mieux datées. Quoi qu'il en soit, un résultat net est acquis : l'intensité du champ magnétique terrestre à l'époque gallo-romaine aurait été en France beaucoup plus forte que l'intensité actuelle, et le moment magnétique du globe aurait subi une réduction importante depuis les quinze ou vingt siècles qui nous séparent de la

1. E. et O. Thellier, « Sur l'intensité du champ magnétique terrestre en France à l'époque gallo-romaine », *C. R. Ac. Sc.*, t. CCXXII, 8 avril 1946, pp. 905-907.

cuisson des objets étudiés. Les recherches se poursuivent dans ce sens, et actuellement des poteries phéniciennes sont à l'étude.

En somme les résultats jusqu'ici obtenus par les géophysiciens à partir de l'étude des terres cuites sont encore bien pauvres pour l'archéologue, plus encore pour le préhistorien. Une courbe de l'orientation du champ magnétique terrestre portant sur quelques siècles, des données fragmentaires sur son intensité, et c'est tout. Rien qui nous permette de formuler les lois de variation de l'orientation dont on ne sait même pas si elle obéit à un rythme régulier et dont on ignore dans ce cas la fréquence approximative du cycle. Bien peu de choses aussi sur les variations de l'intensité du champ magnétique, juste quelques indications laissant entrevoir que celui-ci a peut-être toujours décru. Il semble que de longues années doivent encore s'écouler avant que ceux qui s'intéressent à notre passé puissent disposer de tables ou de graphiques portant sur des dizaines de milliers d'années ou mêmes sur quelques milliers d'années...

Difficultés et limites de la méthode.

La minceur de ces résultats n'est guère étonnante lorsqu'on envisage les difficultés rencontrées pour recueillir des matériaux dont on puisse étudier avec fruit l'aimantation. L'échantillon idéal est le vase ou la brique dont on connaît exactement *l'âge et la position de cuisson.* Si pour le gallo-romain et pour le Moyen Age il est difficile de se procurer des matériaux exactement datés, car il faut pour chaque monument tenir compte des restaurations possibles, de la réutilisation de matériaux anciens, etc., pour les périodes plus anciennes, on n'a jamais encore pour nos régions de chronologie absolue, mais seulement des ordres de grandeur basés sur la stratigraphie. Dans la mesure où les géophysiciens exigent une précision à quelques dizaines d'années près, les recherches ne pourront porter, dans l'état actuel de nos connaissances, que sur deux millénaires environ pour l'Europe Occidentale, sur une période deux ou trois fois plus longue dans l'aire des grandes civilisations antiques de la Méditerranée. Et même à l'intérieur de ces limites la précision d'âge est la plupart du temps fort relative. Quant à la datation des époques plus lointaines elle est encore actuellement du domaine du simple possible ; la première difficulté à laquelle se heurte actuellement le géophysicien est de trouver des matériaux datés avec certitude.

A cette difficulté s'en ajoute une autre, au moins aussi importante Puisque l'aimantation de la terre cuite a pris l'orientation du champ magnétique dans lequel elle s'est refroidie, pour mesurer cette orientation, il faut connaître *l'orientation exacte de l'objet au cours de son refroidissement à la fois par rapport au Nord géographique et par rapport à la verticale.* La première de ces indications, celle qui donnera la *déclinaison,* n'est naturellement jamais fournie par les objets des collections de musée, et d'ailleurs, rarissimes sont les objets trouvés là ou ils se sont refroidis. Le cas ne s'est peut-être jamais présenté pour des poteries, et, de toutes façons, il est fort probable que le fouilleur aurait recueilli le vase sans prendre soin d'en noter la position exacte. Seuls des fours de potier (la date enregistrée serait alors celle de la dernière cuisson), ou des murs de briques incendiés gardent normalement leur position de refroidissement. On peut trouver aussi des aires d'argile battue ayant servi de sol à une cabane et cuites soit au cours d'un incendie, soit au contact d'un foyer [1]. Ces cas, on le voit, sont limités et ne semblent d'ailleurs jamais avoir été étudiés de ce point de vue.

On connaît différents fours gallo-romains ou plus anciens dont les parois ont été trouvées en place et qui formeraient d'excellents matériaux d'étude. Signalons par exemple deux fours intéressants cités par Franchet [2]. L'un est un four de la fin du Néolithique trouvé près de Zürich et constitué par une fosse ovale dont les axes mesuraient 2 mètres sur 1 mètre 50. D'autres fosses du même type ont été signalées en d'autres contrées. L'autre four, déjà décrit par Brongniart [3], aurait été particulièrement intéressant à étudier du point de vue de son magnétisme, c'est celui d'Heiligenberg dans la vallée de la Bruch (Alsace). « Le foyer est un long canal voûté en ogive dont la bouche est à environ 2 mètres 50 de l'espace où se rassemblaient la flamme et la chaleur au-dessous du laboratoire (chambre de cuisson). Des tuyaux en terre cuite, nombreux et de deux grosseurs, partaient de la partie supérieure du plancher de cette chambre et allaient distribuer la chaleur ; les uns plus petits étaient

1. Telle la couche de terre battue fortement rougie au contact d'un foyer dont les cendres et les charbons de bois gisaient encore intacts, mise à jour au cours des fouilles de Bercey, et semblant datée avec assez de précision du début de l'ère chrétienne. G. Drioux, L. Clanché et G. Maitrot, *Fouilles à Bercey, commune de Voisine (Haute-Marne)*, Gallia, tome VI, 1948, fasc. 1, pp. 182-186.

2. L. Franchet, *Céramique primitive. Introduction à l'étude de la technologie*, Paris, 1911.

3. Brongniart, *Traité des arts céramiques*, Paris, 1844.



Planche IX — A. - *Fours d'époque seldjoukide (XIIe-XIIIe siècles). — détail d'un four Shakhuré* d'après M. Bahrami, *Athar-E*, Iran, 1938, tome III, et *Fouilles à Gurgan* (Perse).

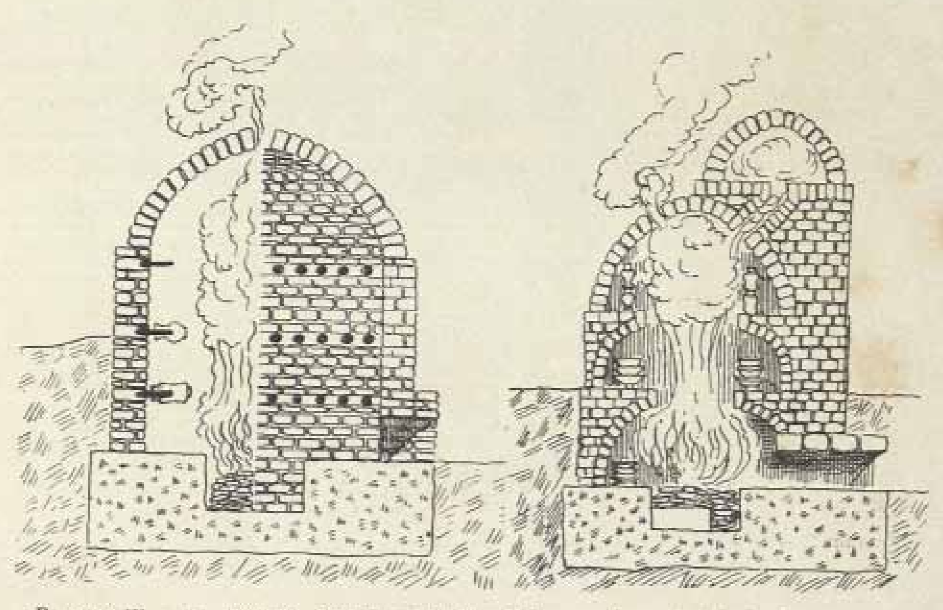
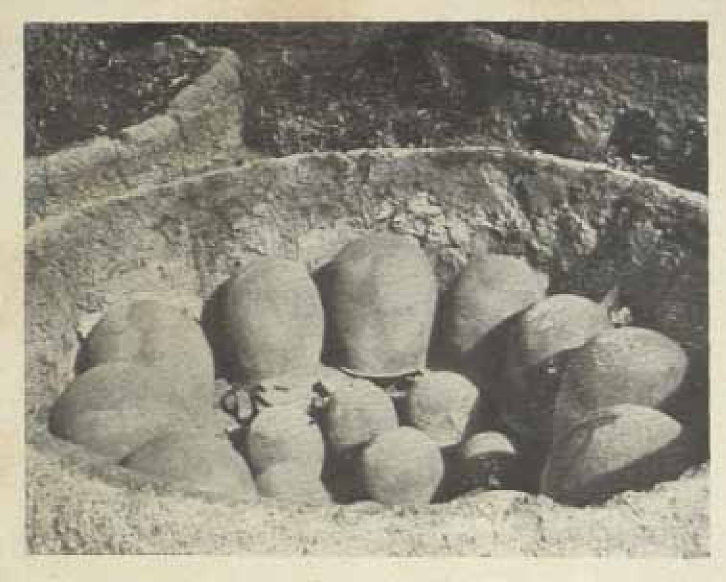


Planche IX — B. - *à gauche, four de type Shakhuré, Gurgan, Perse, et à droite, four de type à étuve, Kashan, Perse.* D'après Jean Lacam, Musée céramique de Sèvres.



LANCHE X — A. - *Four à poteries. Soudan Français, Bla Numa.* (Coll. Musée de l'Homme, collection GRIAULE).



PLANCHE X — B. - *Poteries après la cuisson. Abyssinie, Goudar, village Antonios. Poterie Falacha.* (Coll. Musée de l'Homme, collection GRIAULE).

à la circonférence, et, ce qui paraît bien singulier, dans l'épaisseur du mur du laboratoire ; les autres, plus gros, au nombre de 12 ou 15, allaient s'ouvrir dans le plancher du laboratoire pour répandre la flamme et la chaleur à l'entour des pièces qui y étaient placées. Ces canaux ou tuyaux devaient éprouver une forte chaleur, car ils sont quelquefois devenus durs, à tissu serré comme du grés et même boursouflés et presque fondus comme le montre une des pièces du musée céramique de Sèvres. Des massifs de maçonnerie puissants séparent et garnissent l'espace entre la bouche du foyer et les parois du laboratoire. Le sol de celui-ci est formé de dalles et carreaux en terre cuite. Les canaux qui conduisent dans le laboratoire la flamme et la chaleur peuvent être bouchés plus ou moins complètement par des tampons cylindriques en terre cuite qu'on a trouvés dans ce four, les uns épars, les autres en place. » Cette description, déjà bien ancienne, montre que si les matériaux sont rares, ils ne sont pas inexistants (plusieurs fours de ce type ont été trouvés dans la région de Strasbourg) et que certains même peuvent se présenter dans d'excellentes conditions. Il suffit qu'ils soient signalés avant que la fouille ne les aient rendus inutilisables pour l'étude du magnétisme.

Connaître la position de cuisson et par conséquent de refroidissement d'un objet par rapport à la verticale, celle qui permet de déterminer l'*inclinaison*, a toujours semblé beaucoup plus facile. Cette position dans certains cas en effet peut être déduite *a priori* de la simple forme de l'objet, et sans que celui-ci ait été trouvé en place. Dans les fours actuels, les briques sont entassées et cuites de champ. Sur les bords de l'entassement quelques unes sont posées à plat, mais la différence d'orientation de leur aimantation est alors de 90 degrés et facilement décelable. Il est certain que toutes les briques ont toujours été cuites dans cette position, la seule qui permette la cuisson simultanée d'un grand nombre d'exemplaires. Certes, selon la pente du sol, l'inégalité de certaines pièces, il peut y avoir parfois un certain angle avec l'horizontale, mais les erreurs dues à cette cause doivent se compenser statistiquement si, comme il se doit, on effectue toujours les mesures sur le plus grand nombre possible d'échantillons.

Il est certain aussi que bien des vases, autrefois comme aujourd'hui, ont été cuits dans la position verticale. Dans nos campagnes actuelles où le métier de potier revêt encore un caractère artisanal, l'enfournement des poteries avant la cuisson est une opération longue et méticuleuse. A La Borne par exemple, dans le Cher, chaque type de pot a sa place

bien précise dans l'échaffaudage de l'ensemble. Les pots sont empilés verticalement les uns au-dessus des autres sur une hauteur de 1 mètre 50 à 2 mètres, et il est évident qu'une légère inclinaison de l'un d'eux pourrait amener une catastrophe, au moment du défournement surtout. Les pots ne sont retirés du four pour être entassés dans l'enclos voisin que lorsqu'ils sont refroidis à une température voisine de 40 degrés. A ce moment ils sont entassés sur l'herbe dans les positions les plus variées, mais ils ont déjà acquis alors leur aimantation thermorémanente. Les conditions de cuisson des poteries gallo-romaines ou de l'Orient classique étaient probablement proches de celles-ci. Il est certain par exemple que les grandes amphores à vin ou à huile étaient cuites dans une position verticale. Sans doute peut-on en dire autant pour les précieux vases moulés des poteries d'Arezzo et d'une façon plus générale pour les productions céramiques de luxe.

Pourtant, même dans les fours maçonnés, des conditions particulières peuvent se produire, et il est indispensable avant d'entreprendre l'étude d'un vase de réunir tous les renseignements possibles sur les conditions de sa cuisson. A Gurgan, en Perse, par exemple, des fouilles ont mis à jour des fours d'époque seldjoukide (XIIe-XIIIe siècles) dans lesquels les poteries étaient cuites *horizontalement*. La photo et le dessin en bas à gauche de la planche IX montrent la disposition circulaire de sortes de boudins d'argile fichés perpendiculairement aux parois du four et qui servaient à maintenir horizontalement les vases à cuire. D'autres vases de même époque sont cuits verticalement ainsi que le montre le croquis de droite de la même planche [1].

Mais l'empilage dans des fours maçonnés est loin d'être la façon unique de cuire la poterie. De nombreuses techniques de cuisson beaucoup plus primitives subsistent encore aujourd'hui en Afrique Noire et ailleurs. La plus simple, pratiquée dans des régions aussi variées que la Cordillère des Andes, les Indes, la Kabylie, le Congo, le Niger, consiste à entasser les vases séchés à même le sol et à les recouvrir de branchages ou de tout autre combustible auquel on met le feu. De ce procédé primitif au four du potier berrichon, tous les intermédiaires existent, en particulier celui de la fosse provisoire creusée dans le sol et tenant lieu de chambre d'enfournement. Dans la plupart de ces fours les pots à cuire sont entassés

1. Ces renseignements ainsi que les documents de la planche IX nous ont été aimablement communiqués par M. Jean LACAM, du Musée Céramique de Sèvres.

sans ordre les uns sur les autres. Et ces pots, comme le montrent les photos pl.X peuvent être de formes déjà compliquées avec des becs et des anses. La casse est grande, mais qu'importe après tout ! Le temps ni la matière première ne manquent. Or il est certain que les néolithiques employèrent ces procédés primitifs. On remarque sur les panses de leurs vases, façonnés à la main, des zones irrégulièrement rouges ou noires qui témoignent d'une irrégularité de l'oxydation due à l'emploi d'un four rudimentaire. Quand apparurent les premiers fours creusés, puis maçonnés ? Nous n'en savons rien. Mais il n'est pas impossible que des fours extrêmement primitifs aient subsisté dans les petites poteries locales tout au long de l'âge du fer, peut-être même après la conquête romaine. Souvent dans les fouilles gallo-romaines, on trouve à côté de la production de luxe due aux nouveaux arrivés des produits indigènes beaucoup plus frustes. On sait en somme peu de choses sur les techniques gauloises de cuisson, et il est prudent de s'en tenir aux matériaux évidemment faits selon des procédés déjà évolués.

L'étude magnétique des poteries renseigne d'ailleurs sur ce point. Si tous les pots sont verticaux, les inclinaisons calculées par rapport au plan de base sont cohérentes (pratiquement égales). Si les pots ont été placés sans ordre les inclinaisons seront très dispersées. Là, comme presque toujours dans ces études on ne risque pas de commettre une erreur ; l'étude bien conduite révèle que les objets étudiés ne conviennent pas.

Les conditions requises pour l'étude de l'*intensité* du champ magnétique thermorémanent sont toutes différentes. En effet la position de l'objet n'a plus aucune importance. On peut étudier l'intensité de n'importe quelle terre cuite bien datée même si l'on n'a aucune idée de sa position de cuisson. Par contre une autre difficulté s'élève. Si l'orientation une fois enregistrée est immuable, l'intensité est sujette à certaines variations dues aux conditions dans lesquelles a séjourné l'objet. Sous certaines influences, et principalement en milieu humide, les oxydes de fer se transforment et perdent de ce fait leur aimantation propre, celle qu'ils ont acquise au cours de leur refroidissement. D'autres part certains oxydes (magnétites) peuvent s'aimanter à la longue, à froid, dans le champ terrestre actuel. Ces changements rendent impossible l'étude de leur intensité magnétique thermorémanente. Heureusement, car sans cela on ne saurait jamais s'il s'agit ou non de l'aimantation thermorémanente, il est possible par une série d'observations et de mesures de déterminer de quelle sorte d'aimantation il s'agit.

Un grand nombre de poteries, et par exemple tous les tessons des palafittes dont un long séjour dans l'eau a transformé le magnétisme, sont donc à éliminer pour l'étude de l'intensité du magnétisme ; d'autres, qui ont séjourné en grotte, sont fort suspectes ; toutes doivent subir un examen de contrôle long et compliqué dont les exigences ralentissent le développement des recherches. Mais il reste d'innombrables vases qui satisfont à ces conditions d'étude, en particulier ceux qui proviennent des régions particulièrement sèches du pourtour méditerranéen.

Il est enfin d'autres causes d'erreurs ou de difficultés dans le détail desquelles il serait trop long d'entrer ici. Citons par exemple les champs nouveaux créés par la foudre ou tout autre champ magnétique intense, les changements de champ par réchauffement dû à un incendie ou à la cuisson d'aliments, etc.

Perspectives.

Ce rapide tour d'horizon semble aboutir à une impasse. Pour bien longtemps encore la préhistoire ne peut espérer aucun bénéfice, ou presque, de l'étude du magnétisme des terres cuites. C'est elle au contraire qui devra fournir des matériaux datés et orientés, en échange desquels elle recevra quelques chiffres actuellement dépourvus de signification : inclinaison tant, déclinaison tant, intensité tant. Des chiffres et rien de plus. Mais plus tard ? lorsque les géophysiciens auront réussi à retracer l'histoire du magnétisme terrestre en remontant jusqu'à il y a quelques millénaires, les courbes ainsi tracées pourront-elles être de quelque utilité au préhistorien ?

Il est probable que, dans la plupart des cas, la préhistoire ou l'archéologie sur les entrefaites auront fait assez de progrès pour pouvoir dater leurs propres trouvailles beaucoup plus rapidement et avec autant de sécurité que par l'intermédiaire de l'étude du magnétisme. Celle-ci pourrait alors intervenir surtout dans des cas controversés et comme moyen de contrôle. Imaginons par exemple deux fours gallo-romains à peu près contemporains et dont on voudrait savoir lequel a été abandonné le premier. L'étude des différentes valeurs magnétiques des matériaux formant ce four pourra, même si l'on a des données encore incomplètes sur la courbe des variations, déterminer la date relative des deux dernières cuissons. Comme il semble que le cycle des variations de l'orientation magnétique

soit de brève durée, quelques siècles probablement, cette possibilité n'est valable que pour deux fours, ou deux quelconques terres cuites, d'époque rapprochée

Les études sur l'intensité du magnétisme n'ont mis jusqu'ici aucune variation cyclique en évidence. Si l'hypothèse d'une décroissance continue de l'intensité magnétique terrestre se confirmait, les applications à la préhistoire seraient immédiates et du plus haut intérêt. Le principe de ses applications est d'une simplicité enfantine : plus l'échantillon étudié est ancien, plus son intensité magnétique est grande. La pratique, comme toujours en serait beaucoup plus complexe, mais on voit déjà les innombrables perspectives ouvertes. Et si les premiers résultats ne doivent évidemment porter que sur un âge relatif, il n'est pas exclu que l'on parvienne un jour par ce moyen à une datation absolue.

La possibilité de mesurer l'intensité magnétique thermorémanente des terres cuites est toute récente et c'est pourquoi aucun essai n'a encore porté sur des poteries trouvées en stratigraphie. Des fouilles bien faites offrent au géophysicien un merveilleux moyen de contrôle de l'hypothèse formulée plus haut. Alors que la classification chronologique des vases et des tessons d'après leur typologie est encore la plupart du temps hasardeuse, une bonne stratigraphie, quand elle ne comprendrait qu'un nombre restreint de couches, offre des tessons de plus en plus anciens sur lesquels on pourrait facilement vérifier une loi de décroissance continue de l'intensité magnétique. Jusqu'ici les fouilles néolithiques ou plus tardives ayant donné une bonne stratigraphie étaient relativement rares en Europe Occidentale. Les importantes fouilles de stations lacustres, parmi lesquelles celles de Vouga vers 1920 avaient donné une succession de civilisations allant d'un Néolithique dit Ancien (en réalité il s'agit d'un néolithique déjà évolué) à l'âge du Bronze en passant par plusieurs étapes bien distinctes. Malheureusement les tessons ayant séjourné dans l'eau ont subi une modification de leur aimantation thermorémanente et ne sont utilisables en principe que pour la recherche de la direction du champ ancien. Mais il n'est pas impossible de trouver des poteries en stratigraphie dans des conditions satisfaisantes. Dans le Proche-Orient par exemple, où le climat sec est particulièrement favorable à ce genre d'étude, les successions d'Hissarlik sont parmi les plus connues et les plus spectaculaires.

En Europe Occidentale, les fouilles récentes des Arène Candide [1] près de Finale, en Ligurie, (Italie) ont donné vingt huit niveaux à céramique s'étendant de la fin du Mésolithique à l'époque romaine. Plus profondément, à près de 8 mètres de la surface du sol, on a atteint un niveau, aurignacien.. ; et les fouilles ne sont pas terminées. Une telle succession pourrait être dès maintenant étudiée du point de vue de l'intensité magnétique des vases et tessons. Dans la mesure où les résultats pourraient être alignés le long d'une courbe ou d'une droite d'allure régulière, il ne serait peut-être pas impossible de formuler une hypothèse sur la durée des périodes séparant les différentes couches.

Et si toutes ces recherches finissaient par porter leur fruit, si l'histoire du magnétisme terrestre dans un passé plus ou moins proche pouvait être reconstituée, la préhistoire devrait-elle en voir cesser l'application à l'aube du Néolithique, puisqu'au-delà, aucune poterie, quelle que primitive qu'elle soit n'a été retrouvée. Même si l'hypothèse quelquefois avancée d'une poterie magdalénienne se trouvait confirmée, les quelques échantillons grossiers que l'on pourrait recueillir sporadiquement ne changeraient sûrement que bien peu de choses à l'ensemble du problème.

Théoriquement un autre champ de recherches peut s'ouvrir pour les fouilles d'habitat paléolithique par l'étude magnétique des pierres de foyer qui n'ont jamais encore été considérées de ce point de vue. En effet d'autres minéraux que les argiles contiennent des oxydes de fer et par suite présentent les propriétés des corps magnétiques. Dans la mesure où de tels minéraux ont été employés il y a des millénaires par les chasseurs paléolithiques comme pierres de foyer, on devrait pouvoir leur appliquer les mêmes procédés d'étude qu'aux poteries néolithiques.

Malheureusement en France dans les régions les plus riches en sites préhistoriques, comme la Dordogne par exemple, la plupart des pierres de foyer sont calcaires et contiennent trop peu d'oxydes de fer pour être magnétiques. Mais il arrive, même dans des régions essentiellement calcaires, que de gros galets granitiques ou d'autres roches cristallines aient servi de pierres de foyer dont il serait alors possible d'étudier l'intensité magnétique. Dans certains cas, qui deviennent plus fréquents à mesure que les fouilles sont faites aves plus de soin, on pourrait procéder également à des essais de mesure d'orientation. Il arrive en effet que le décapage mette à jour un foyer qui semble être resté exactement dans l'état

1. Bernarbo Brea, *Gli strati con ceramiche*, 1ère partie de *Gli scavi nella caverna delle Arene candide*. Instituto di Studi Liguri. Bordighera 1946, p. 366, pl. 68.

où il se trouvait il y a quelque dix ou vingt mille ans quand s'éteignirent les dernières braises : des cendres, quelques charbons de bois, quelques os carbonisés entourés de trois ou quatre grosses pierres encore rougies par le feu de branchages qui pouvait facilement atteindre plusieurs centaines de degrés — toutes les conditions requises pour une bonne étude magnétique, dans la mesure où il s'agit bien de roches magnétiques et où elles n'ont pas été déplacées par l'homme ou par quelque bête en quête d'un gîte.

Laves et terrains volcaniques.

Un autre champ d'études, encore bien peu utilisé du point de vue de l'archéologie, est celui du magnétisme des laves et des terres cuites naturelles, c'est-à-dire des terres qui, lors d'une éruption, se sont trouvées cuites au contact d'une coulée de lave. De tels matériaux présentent l'avantage de s'être refroidis dans une position rigoureusement déterminée, inchangée jusqu'à nos jours. Par contre, sauf pour les éruptions célèbres de la période historique, on ignore souvent la date même approximative de l'éruption. Ces études précédèrent celles des terres cuites par l'homme et suscitèrent de nombreuses recherches parmi lesquelles on peut citer celles de P. L. Mercanton sur des basaltes et des diabases du Spitzberg, du Groenland, de Jan Mayen, d'Australie, celles de Matuyama en Extrême-Orient, etc. D'un intérêt particulier du point de vue de l'archéologie sont les recherches de Brunhes et David sur des terrains volcaniques du Cantal[1]. « ... à Ponfarein (commune de Cezens, Cantal), à 20 km. de Saint-Flour, une tranchée de route a mis à nu une couche d'une argile friable, restée assez molle et visible sur 100 mètres de longueur sous une couche épaisse de 4 à 5 mètres de basalte miocène, dit des plateaux, dont la chaleur l'a transformée en brique. L'inclinaison magnétique s'y est montrée très forte et, qui plus est, australe ; la déclinaison y dépasse l'actuelle de plus de 90 degrés à l'Ouest. A l'époque de la cuisson de la brique, l'aiguille aimantée avait en ce point son pôle Sud dirigé vers le Nord et plongeant sous l'horizon... Il n'est pas possible d'expliquer ce cas remarquable par un changement de situation de la couche d'argile postérieur à sa cuisson. Il eût fallu un retournement

1. Cité par MERCANTON, « La méthode de Folgheraiter et son rôle en géophysique », *in Arch. des Sc. Phys. et Nat.*, Genève, t. XXIII, 1907, pp. 467-482.

complet de la couche, chose inadmissible puisqu'alors la zone de cuisson se trouverait à la zone inférieure du banc d'argile, ce qui n'est pas. Quant à l'envisager comme un accident magnétique purement local, il n'y faut pas songer. La constance de la direction et du sens de l'aimantation le long du banc s'y oppose. A moins donc d'admettre l'existence d'anomalies gigantesques largement localisées, ce que rien dans nos connaissances du magnétisme terrestre actuel ne nous autorise à faire, il faut accepter cette idée que l'équateur magnétique est remonté, à l'époque miocène au Nord de Ponfarein. Dès lors il convient d'admettre aussi le déplacement des pôles magnétiques à d'autres époques encore... »

Dans un autre cas on a pu étudier à la fois les deux coulées de lave enserrant le banc d'argile métamorphisé (carrière de Royat). On a pu déceler ainsi une discordance d'aimantation des deux coulées atteignant une dizaine de degrés pour l'inclinaison et plusieurs dizaines pour la déclinaison. L'aimantation de la brique concordait avec celle du banc de lave supérieur qui évidemment l'avait cuite. »

Voilà qui semble nous mener bien loin de l'étude du magnétisme en archéologie. Pas si loin cependant car cette série d'observations dans le Massif Central trouva une application immédiate et inattendue. Les grandes dalles en domite qui couvrent le sol du Temple de Mercure dont les ruines couronnent le Puy de Dôme ne sont pas de la roche même de la montagne. David en comparant leurs données magnétiques avec celles de cubes taillés dans les cavernes artificielles du Puy de Clierzou à 4 km. de là, s'aperçut d'une concordance remarquable. Des recherches de ce genre n'ont pas été renouvelés, mais pourraient conduire à des applications fort intéressantes pour l'archéologie.

On peut aussi songer à étudier des roches volcaniques récentes dont les coulées soient datées et à remonter ainsi dans le temps. C'est ce qu'a fait R. Chevallier[1] pour les laves de l'Etna sur des coulées d'âge comprises entre 1284 et l'époque actuelle. Ses résultats sont les suivants : pour la déclinaison la courbe prolonge bien celle connue par mesures directes pour la Sicile. Elle donne un maximum occidental pour la Sicile vers 1780 et un maximum oriental vers le début du XVe siècle ; au total si la variation est périodique, la période serait d'environ 750 ans. Pour l'inclinaison qui varie entre 50 et 63 degrés, il obtient un maximum de

1. R. Chevallier, thèse, *Annales de Physiques*, 10e s., 4 (1925), pp. 5-162.

63 degrés vers 1660 et un autre maximum de 59 degrés vers 1330. La courbe ainsi obtenue n'est pas symétrique de celle connue par mesure directe.

Des travaux plus récents [1] montrèrent que les procédés utilisés jusqu'alors étaient insuffisants. Les résultats de la plupart des recherches anciennes sont à reprendre et en particulier on ne peut plus tenir pour démontré, le renversement du champ terrestre dans le passé. Toute mesure effectuée sur une coulée ou sur une roche volcanique ne peut être considérée comme valable que si auparavant ont été vérifiées la *stabilité* et l'*uniformité* de l'aimantation de cette coulée ou de cette roche.

Compte tenu de ces restrictions, certaines applications à l'archéologie seraient fort intéressantes. Il n'est pas rare dans les régions volcaniques de trouver des gisements datés par rapport à une ou plusieurs coulées de lave. Le cas le plus favorable serait celui de plusieurs niveaux d'industries séparés par plusieurs coulées de lave. L'avantage d'un tel gisement est double : quantité et fixité des matériaux magnétiques, mise sous scellée des matériaux archéologiques et garantie contre tout remaniement postérieur. Même si la stratigraphie ne donne pas directement la succession : lave, industrie, lave, industrie etc., il n'est pas rare que l'on puisse dater un site par rapport à une coulée qui ne la recouvre pas directement. L'étude et la datation de la coulée supérieure donnerait une date minimum du gisement archéologique, l'étude de la coulée sous-jacente donnerait son âge maximum.

Les possibilités dans ce domaine sont grandes dans toutes les régions volcaniques. Citons quelques exemples pris au hasard dans les régions les plus variées. Aux environs de Mexico [2], une gigantesque coulée de lave, datant pense-t-on de 7000 ans a recouvert le fond d'une vallée certainement occupée auparavant. "Ce Pedregal", sous lequel doivent se trouver des ruines de villages ou de maisons a encerclé la colline artificielle de San Cuicuito couverte de ruines plus anciennes que la coulée de lave. Au Chili dans la région de Curico, il se pourrait que l'on découvre sous les traces d'un volcanisme encore existant des vestiges humains. Cette région en effet a été habitée depuis l'époque précolombienne, et peut-être bien auparavant. Les exemples de sites japonais ensevelis sous les laves ou sous les cendres sont nombreux. On peut citer les fouilles

1. E. THELLIER, « Géomagnétisme dans le passé », *in Problèmes de Géomagnétisme*, Paris, 1950, p. 51 et suiv.

2. Byron CUMMINGS, *National géographic Magazine*, août 1923.

d'Ibusuki dans le Kyushu [1] dont la stratigraphie s'établit comme suit : 1° Terre végétale stérile ; 2° Cendres volcaniques stériles noirâtres ; 3° Laves boueuses avec quelques végétaux fossilisés et coquilles ; 4° Cendres brun foncé ; 5° Couche archéologique avec en surface des poteries Iwaibe et Yayoi (âge du fer) et à la base des poteries Jomon (néolithique) ; 6° Sous le Jomon cendres stériles de plus en plus jaunâtres. Il est probable que ces couches de cendres pourraient être reliées à des coulées de lave voisine. Au Liban, la station de Baaodat à 20 km. à l'Est de Beyrouth a donné de nombreux silex taillés dont certains sont inclus dans la lave. Et on pourrait multiplier les exemples à l'infini.

Point n'est besoin d'ailleurs de s'attaquer à un volcanisme lointain. En France comme en Italie on pourrait trouver des exemples intéressants. Citons ici un des plus connus des préhistoriens, celui du volcan de la Denise. En 1844 et dans les années qui suivirent on découvrit sur les pentes Sud-Ouest du volcan de la Denise, près du Puy, des ossements humains soit isolés, soit inclus dans des blocs de roche argilo-gréseuses où ils s'étaient fossilisés. Ces os avaient été découverts en plusieurs fois de 1844 à 1859 sans fouilles systématiques et furent considérés comme suspects. En 1925, Depéret entreprit une exploration plus méthodique du gisement pour chercher d'autres débris humains et, à défaut, étudier d'une manière plus précise les relations des couches fossilifères avec les éruptions du volcan quaternaire [2]. Bien que les résultats de son étude soient restés controversés, ils restent intéressants comme exemple d'application possible de l'étude du magnétisme à des sites paléolithiques.

Les couches quaternaires qui ont fourni les ossements fossiles reposent sur des brèches basaltiques d'âge pliocène. Elles-mêmes sont finement stratifiées d'éléments siliceux et argileux et contiennent des traces de cendres. C'est grâce à cette stratification plus ou moins prise en brèche qu'il fut facile de retrouver l'emplacement exact des ossements fossiles qui étaient encore pris dans leur brèche originelle bien stratifiée. Or les rapports des couches fossilifères avec les produits éruptifs des volcans voisins ont pu être établis avec précision. En effet, si l'on suit les couches

13. Pour les sites archéologiques japonais, leur répartition géographique et leur stratigraphie, on peut consulter HAGUENAUER, « Notions d'archéologie japonaise : le Néolithique », *in Bull. de la Maison Franco-Japonaise*, t. III, 1931, n° 1-2, p. 74, photos, plans et cartes.

14. L. MAYET et H. CHOSSEGROS, « Les hommes fossiles de la Denise », *La Nature*, 1926, p. 227. Voir aussi sur cette question, M. BOULE, *Les Hommes Fossiles*, 3e édition par H. V. VALLOIS, Paris, 1946, pp. 159-160 avec quelques indications bibliographiques.

vers l'Ouest on les voit venir buter contre la paroi verticale d'un dyke basaltique faisant partie de la cheminée et se rebrousser à son contact. Il n'est pas douteux que l'éruption du basalte a été postérieure à la formation du dépôt sédimentaire, lequel a été comme coupé au couteau et relevé par l'ascension du basalte dans la cheminée. Et Depéret résume ainsi l'histoire du volcan de la Denise : à la fin du Pliocène, un grand volcan existait tout près de l'emplacement actuel qui a projeté des masses de tuf et de brèches basaltiques formant un cône bien visible à l'Ouest de la montagne, près du Collet. Ces produits volcaniques furent ensuite démantelés par l'érosion. Puis un petit lac s'installa dans le cratère et forma une sédimentation avec des éléments tirés soit des brèches volcaniques, soit des sables pliocènes. C'est dans les sédiments de ce lac que furent retrouvés les ossements humains, ceux d'un noyé probablement. Plus tard, le volcan rentra en activité, une nouvelle cheminée se forma qui coupa les sédiments lacustres. Le volcan de la Denise fournit donc un excellent exemple de matériel archéologique pris entre deux coulées de lave. Il montre que point n'est besoin que les coulées recouvrent directement le site. L'étude magnétique en a d'ailleurs été faite récemment[1].

A. Laming

1. Voir appendice p. 327-329.

QUATRIÈME PARTIE

L'ÉTUDE DES VESTIGES DE L'INDUSTRIE HUMAINE



INTRODUCTION A LA QUATRIÈME PARTIE

Étude des vestiges de l'industrie humaine.

Nous venons de voir de quelle façon on pouvait tenter de reconstituer le cadre géographique et chronologique dans lequel vécurent et évoluèrent les hommes des civilisations passées. Ce sont maintenant les vestiges mêmes de ces hommes, dont il faut envisager l'étude.

Ce sont d'abord les restes de l'homme lui-même, ses ossements, et, dans quelques très rares cas, un témoignage plus vivant, la trace d'une main, une empreinte de pied [1]. Puis les marques qu'il a imprimées au paysage. Plus son genre de vie est rudimentaire, moins elles sont nombreuses. Pratiquement inexistantes au Paléolithique, elles se multiplient et se diversifient au Néolithique, avec la fixation au sol de populations sédentaires agricoles et les premiers déboisements. Une occupation prolongée transforme la composition chimique du sol et modifie l'équilibre de la végétation. Ces transformations sont encore décelables après des millénaires soit par analyse chimique (voir par exemple p. 40-42), soit par analyse pollinique (voir p. 169), et fournissent des renseignements intéressants sur la densité, la répartition, les activités des populations étudiées.

Mais ce genre d'études est encore assez peu développé, en France en particulier, et ce sont surtout les vestiges directs de l'activité humaine qui forment l'essentiel des recherches préhistoriques : les restes matériels de son industrie (outils, armes, objets divers), de ses repas (foyers, ossements, restes alimentaires conservés dans la tourbe), de ses goûts (ornements, etc.), de ses croyances (sépultures), de son art, les vestiges de ses habitats, et, à partir du néolithique, les témoins de sa culture et de son élevage. Si l'on met de côté les restes végétaux et animaux non transformés par l'industrie humaine, dont l'étude relève des sciences naturelles, on peut entreprendre l'étude de ces vestiges selon des directions assez différentes.

La typologie, la méthode la plus classique et la plus anciennement utilisée, prend pour centre de ses recherches un *type* d'outil (ou de tout autre vestige : œuvre d'art, sépulture, etc.), en dresse la répartition chronologique et géographique, et établit

1. Les vestiges humains biologiques forment l'objet de l'anthropologie préhistorique, ou paléontologie humaine, dont la paléopathologie est une branche très importante. Sur l'anthropologie préhistorique, voir : M. Boule, *Les Hommes Fossiles, éléments de Paléontologie humaine*, 3e édition par H. V. Vallois, Paris 1946. Sur la paléopathologie, voir L. Pales, *Paléopathologie et Pathologie comparative*, Masson 1930, 348 p., 73 pl. et bibliographie de 660 titres. Pour des travaux plus récents, on peut consulter : P. Morel, *Pathologie et Chirurgie Préhistoriques*, Marseille, 1944. p. 79, pl. XIII, Bibliographie.

l'histoire de ses variations dans le temps comme dans l'espace. On cherchera par exemple les variations de la forme du burin dans la succession stratigraphique d'un gisement, puis d'une série de gisements ; on étudiera sa répartition géographique et éventuellement son association avec d'autres types d'outils réputés caractéristiques. Cette méthode qui est essentielle et qui est fondée sur le postulat qu'un type d'outil ou qu'un ensemble de types d'outils, est caractéristique d'une civilisation, est un excellent instrument de classification. On lui a souvent reproché de centrer ses préoccupations sur des variations morphologiques qui sont peut-être dépourvues de signification et d'aboutir parfois à une virtuosité qui reste à peu près muette sur les problèmes relatifs à l'homme lui-même.

En fait, ces reproches s'appliquent plus à l'attitude de tel ou tel chercheur qu'à la méthode elle-même qui reste fondamentale. Elle contient en germe l'essentiel des autres méthodes utilisées : recherche des aires de civilisation, des voies de commerce, étude des questions d'influences, de survivances, etc., étude des techniques utilisées, etc.

Problèmes d'identification.

Dans la plupart des cas, l'étude des vestiges, si elle n'est pas strictement morphologique, commence par une identification, soit parce que l'état de conservation de l'objet le rend méconnaissable, soit parce qu'on veut pousser plus loin l'étude de sa provenance ou des techniques selon lesquelles il a été fabriqué. L'analyse chimique et l'examen au microscope sont les deux pôles autour desquels gravite l'essentiel de ces identifications. La radiographie, les analyses spectrographiques, les examens par fluorescence sont aussi parfois utilisés.

Dans certains cas, il s'agit d'identifier la matière même de l'objet ou du vestige découvert. Il y a plus de cent ans, Boucher de Perthes avait déjà noté l'utilité de l'analyse de certains vestiges inidentifiables à première vue. « L'on rencontre fréquemment sous les sépultures un lit de matière noire que la couleur grise ou blanche du sable rend d'autant plus distinct. Ce lit, épais de quelques centimètres, est un composé de détritus de plantes, de cendres et de charbon. Ce mélange, que j'avais pris pour de la tourbe, en diffère essentiellement, surtout par son odeur qui annonce la présence de substances animales. J'en ai conservé des échantillons dont on pourra faire l'analyse. »[1] Bien avant Boucher de Perthes, Legrand d'Aussy, dans un mémoire lu devant l'Institut le 7 ventôse de l'an VII, demandait que des chimistes se joignissent aux archéologues pour l'étude des sépultures.

Pendant tout le XIXe siècle, les analyses chimiques sont à la mode en Préhistoire. On analyse des poteries, des os, des bronzes, des objets de fer, des substances colorantes, des déchets de toute sorte, et il faut avouer que les résultats sont loin ce répondre à la somme d'efforts dépensée. Actuellement, on utilise aussi l'analyse chimique pour les études pédologiques soit au cours des fouilles (on peut par exemple chercher à déterminer si telle tache noirâtre découverte au cours d'un décapage est

1. *Ant. Celt. et Ant.* 1847, I, p. 545.

due à du manganèse, du guano, etc., ou à des charbons de bois, trace de la présence humaine), soit pour des études de plus vaste envergure portant sur les établissements agricoles en particulier [1]. On l'utilise surtout comme nous le verrons plus loin, pour l'étude de la composition de certains objets et des perles en particulier.

Ce sont généralement les vestiges organiques dont l'identification pose des problèmes. Le microscope dira si un fragment de tissu est composé de fibres de laine, de lin, de chanvre ou d'orties. L'examen d'une croûte brunâtre, collée à la surface interne d'un tesson, donnera quelque lumière sur le menu des hommes qui utilisèrent le vase pour la cuisson de leur nourriture. Les bois surtout, qui, dans certaines conditions, se conservent pendant des milliers d'années, ont provoqué des études intéressantes. La plupart du temps, on cherche simplement à identifier l'espèce [2], mais on peut aussi pousser plus loin l'étude et aboutir à des résultats tout à fait inattendus.

Récemment, des recherches extraordinairement minutieuses ont été faites sur les piquets d'un barrage à poissons, dont les premiers furent découverts accidentellement en 1913, lors de la construction du métro de Boston et qui semblent dater de 3 à 4.000 ans. Les bois de ce barrage à poissons furent étudié au microscope ordinaire et au microscope polarisant, examiné aux rayons X, soumis à l'analyse chimique. De cette série d'opérations dont la complication peut sembler disproportionnée au but à atteindre, on put tirer cependant une série de conclusions intéressantes plus encore sans doute comme exemple de méthode à suivre que pour les quelques faits qui purent être établis.

On put déterminer par l'examen de coupes minces prélevées au microtome, que les Indiens utilisèrent pour l'édification de leur barrage, au moins 17 genres et 20 espèces d'arbres ou d'arbustes. Il semble que le choix n'en soit pas dû à quelque propriété physique particulière, mais que l'on coupait indifféremment toutes les tiges bien droites de 1 à 4 pouces de diamètre. L'examen microscopique montre la présence de vaisseaux et de fibres nouvellement formés à la surface externe du bois, et on peut en conclure que les tiges furent coupées peu après le réveil de l'activité du cambium, c'est-à-dire entre le milieu d'avril et le milieu de juin. Toutes les réparations, qui durent être nombreuses, furent toujours faites au printemps. L'étude de l'état de conservation des piquets montre que les champignons et moisissures qui ont attaqué le bois et dont les traces sont encore visibles, sont surtout terrestres et que leur action n'est pas localisée à la partie supérieure des piquets, d'où l'on peut conclure que ceux-ci furent immédiatement immergés. Une série d'essais pour estimer l'âge des bois par leur degré de décomposition (hydrolyse et dégradation de la cellulose, etc.), par comparaison avec des bois d'âge connu dans des dépôts analogues, n'a pas donné grand résultat par suite surtout du manque de matériaux de comparaison [3].

1. Voir par exemple : Grimes, *Antiquity*, XIX, 1945, p. 169.

2. Pour l'identification des bois préhistoriques, on peut consulter R. Müller-Stoll, « Untersuchungen urgeschichtlichen Holzreste », dans *Prähistorische Zeitschrift*, t. XXVII, 1936, pp. 2-57, fig. 20 (catalogue de bois d'Europe Centrale avec caractéristiques anatomiques).

3. Voir dans Fr. Johnson, *The Boylston Street Fishweir*, Andover 1942, les études de I. W. Bailey et E. S. Barghoorn et de E. C. Jahn et W. M. Harlow, chapitres VI et VII, pp. 82-89 et 90-95. Ces chapitres sont illustrés de plusieurs très belles photomicrographies des bois.

Cet exemple est presque la caricature de tout ce que l'on peut dire à propos d'une simple trouvaille, banale en soi. Des recherches aussi poussées peuvent sembler inutiles. Pourtant il vaut mieux épuiser toutes les possibilités offertes, au risque de courir parfois à un échec, que d'accumuler et de laisser perdre des trouvailles sans savoir exploiter la mine de renseignements qu'elles contiennent.

Si les vestiges organiques sont relativement fréquents pour le néolithique et les âges des métaux, ils sont pratiquement inexistants pour les époques antérieures. Les découvertes de bois paléolithiques [1] sont extrêmement rares, et ils ne semblent pas avoir donné lieu à des études particulières. On a parfois pensé découvrir des traces des graisses qui auraient servi à la préparation des peintures des grottes : les analyses faites jusqu'ici n'ont pas donné de résultats intéressants. Les lampes paléolithiques qui présentent sur leur face interne des traces noirâtres ne nous ont pas appris grand chose sur les combustibles qui les ont produites. On avait pensé retrouver sur certains silex des vestiges de la gomme ou de la résine qui aurait servi à fixer la lame de pierre à un manche de bois, d'os ou de corne. Mais aucun résultat intéressant n'a été obtenu. Les essais d'application de la fluorescence ou de la microanalyse à cette catégorie de vestiges sont encore à leurs débuts. Leurs possibilités n'en ont pas encore été systématiquement exploitées.

Une lame de silex provenant de la grotte de Lascaux et portant quelques centigrammes de matière grisâtre, apparemment organique, fut apportée récemment au Musée de l'Homme. Cette lame fut confiée aux Laboratoires de la Préfecture de Police qui acceptèrent fort aimablement de se charger de l'analyse. Aucune trace de résine ne put être détectée, pas plus d'ailleurs que d'autre matière organique.

En France, aucun laboratoire de Préhistoire n'est équipé pour ce genre de recherches. Il est d'ailleurs curieux de constater que les laboratoires dont les investigations se rapprochent le plus de celles de la Préhistoire sont ceux de la Police criminelle. Le préhistorien cherche aussi à reconstituer un drame, mais c'est un drame très ancien, celui de nos ancêtres. La connaissance préhistorique est le plus souvent une connaissance par *traces*, et il est certain que dans de nombreux cas, il y aurait beaucoup à gagner à étudier les méthodes de prise d'échantillons ou d'identification de vestiges minuscules, employées par la Police criminelle [2].

Problèmes de provenance et de techniques

A côté de l'identification, les travaux de laboratoire souvent permettent la solution de toute une série de problèmes relatifs soit à la provenance, soit à la techni-

1. H. L. Movius, « A wooden spear of third interglacial Age trom Lower Saxony », *in Southwestern Journal of Anthropology*, vol. VI, n° 2, 1950, pp. 139-142, fig. 2.

2. A cet égard, on peut citer un très intéressant ouvrage paru récemment aux Etats-Unis, et qui pourrait être utilement consulté pour tout ce qui est détection et identification de restes organiques :

Charles E. O'Hara et James W. Osterburg : *An Introduction to Criminalistics. The Application of the Physical Sciences to the Detection of Crime.* (The Mac Millan Cy, New-York 1949, 705 p. 314 fig.). Voir Bibliographie p. 329.

que de fabrication des objets étudiés. Un des soucis essentiels du préhistorien est de reconstituer le jeu de l'évolution et des influences, d'étudier le rôle des filiations, des emprunts ou du commerce dans les variations de type des outils.

Dans ce genre d'études, il peut souvent être essentiel de déterminer si un objet est de fabrication locale ou d'importation étrangère. La typologie et l'étude des aires de civilisation ne donnent à ce genre de questions que des réponses de probabilité. Par contre, l'examen de la matière constitutive d'un objet peut, dans des cas favorables, donner des certitudes sur son lieu d'origine et permettre par suite de reconstituer des voies de commerce ou d'invasion. Un exemple typique de ces problèmes de provenance est celui de la répartition des lames du Grand Pressigny en Europe occidentale. Il n'est pas toujours facile d'apprécier avec certitude la provenance d'un silex d'après ses caractères extérieurs tels que la couleur, le toucher, etc. Or les silex contiennent des micro-organismes variés, datant de la formation même du silex : on peut même y retrouver jusqu'à des grains de pollen [1]. La composition de ces micro-organismes est identique pour des gisements de même âge, si bien que deux silex différents ne peuvent provenir d'un même gisement. L'inverse d'ailleurs n'est pas vrai et deux silex identiques peuvent fort bien appartenir à des gisements différents. Ainsi, dans le cas du Grand Pressigny, il serait possible de déterminer après examen de coupes minces, que tel silex douteux n'est pas originaire du Grand Pressigny. Mais la preuve inverse n'est pas possible à établir d'une façon rigoureuse.

Beaucoup plus avancées sont les recherches portant sur l'identification pétrographique des haches de pierre polie [2]. Un comité spécial occupant plusieurs chercheurs a été constitué dans ce but en Angleterre. Les recherches sont poursuivies activement. Elles portent non plus sur la composition en micro-organismes, inexistants, mais sur les caractères minéralogiques même des pierres utilisées ([3]). Les Anglais souhaitent vivement que des études analoguent soient poursuivies en France, qui permettraient peut-être de déterminer avec précision des voies de commerce entre la France et l'Angleterre dès les temps néolithiques. C'est l'analyse chimique, par contre, qui permet de distinguer les ambres provenant de la Baltique qui ont une composition chimique particulière.

Un autre exemple de la façon de résoudre ces problèmes d'origine se rapporte à des vestiges beaucoup plus récents. Les verres étant des silicates multiples, la prédominance de l'un ou l'autre des constituants permet de déterminer dans certains cas la provenance des verres anciens. En effet, en raison de la complexité des opérations de fabrication, peu nombreux étaient les centres de production du verre, et d'autant plus facile, relativement, est la détermination d'origine. Dans l'antiquité classique, la prédominance du silicate de potasse est caractéristique de l'industrie égyptienne en raison des importants dépôts de natron de l'Egypte, et l'analyse des

1. Voir chapitre XII. p. 264-267.

2. Des essais pour déterminer la provenance des pierres polies furent tentés à plusieurs reprises au siècle dernier. Voir en particulier : A. Damour, « Sur la composition des haches en pierre trouvées dans les monuments Celtiques et chez les tribus sauvages », *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1865-1866, vol. LXIII, pp. 1038-1050 et *Matériaux*, II, pp. 334-345 et III, pp. 141-154.

3. Voir chapitre XI. p. 247-272.

perles de verre que l'on trouve par exemple dans les sépultures des premiers siècles de notre ère, permet d'étudier les routes de diffusion du verre égyptien [1].

Les perles de faïence de leur côté, sont faciles à étudier par la méthode spectrographique. Articles de luxe, et facilement transportables, elles faisaient au deuxième millénaire avant J.-C. l'objet d'un commerce important dans le bassin méditerranéen et les différences de composition observées au spectrographe peuvent parfois permettre de leur assigner une provenance ou une date. C'est ainsi que des perles trouvées à Harappa, dans le Penjab, un des grands centres de la civilisation de l'Indus, purent tout récemment être identifiées, grâce à l'examen spectrographique, à des perles provenant de Knossos (Crète). Comme l'on sait que les perles de Knossos datent des environs de 1600 avant J.-C., on peut fixer la date probable de leur apparition dans la vallée de l'Indus vers 1550 environ, sans que l'on sache d'ailleurs si elles y ont été apportées par voie de mer ou par voie de terre [2]. Par cette méthode, une date a été ainsi déterminée en même temps qu'un rapport commercial était confirmé.

Mais l'étude de ces problèmes d'origine par analyse ou examen des matériaux constitutifs ne trouve guère de solutions dès qu'il s'agit d'objets d'usage constant dans des populations d'égal niveau technique, et dont la matière, souvent complexe, est obtenue à partir d'éléments simples que l'on retrouve un peu partout. Moins que leur forme, la composition d'un pot ou d'une arme ne peut donner d'indication absolue sur leur lieu d'origine. En ce domaine, la convergence joue trop souvent et des civilisations sans contact et sans parenté ont pu pratiquer des recettes identiques.

Dans une autre direction, l'étude des vestiges préhistoriques permet parfois d'entrer dans le détail des procédés de fabrication et d'obtenir ainsi des indications précises sur le degré d'évolution technique des peuples étudiés. Pour la connaissance des techniques de la taille du silex, la meilleure méthode est encore l'expérimentation. Grâce à elle, et avec pour tout outillage quelques blocs de silex et un bâton, on a pu reconstituer l'essentiel des procédés de taille.

Les recherches de laboratoire sont beaucoup plus développées. L'étude microscopique des poteries peut permettre de déterminer les constituants qui sont entrés dans la composition de la pâte, les procédés de modelage ou de tournage, d'engobage ou de vernissage, de cuisson, etc. On imagine tout ce que de tels renseignements peuvent apporter à la connaissance des techniques archaïques de la poterie. De la même façon, l'étude des techniques de la vannerie, du tissage, de la métallurgie surtout, nous font pénétrer plus profondément dans la vie quotidienne des hommes des temps passés, et permettent en même temps d'approfondir les problèmes d'origine et d'influence. [3]

1. Voir par exemple E. Salin, *Le Haut Moyen-Age en Lorraine*, P. Geuthner-Paris, 1939, p. 335, fig. 31, XLIV pl., pp. 166-177, pp. 194-213 et passim.

2. J. F. S. Stone, « A second fixed point in the chronology of the Harappa culture » dans *Antiquity*, n. 92, déc. 1949, pp. 201-205.

3. Pour l'étude de la poterie et du métal, voir les chap. XIII et XIV, p. 269 et 281.

Limite de notre connaissance du passé

Ainsi nous connaissons un milieu géographique, une structure anatomique, des types d'industrie à un moment donné. Nous saisissons une évolution dans le temps, des déplacements dans l'espace, des voies de commerce ou de migration, des influences. Parfois, enfin, de patientes investigations réussissent à appréhender l'homme préhistorique dans ses actes techniques même : chasse, taille du silex, polissage de la pierre, fabrication de vases de terre, etc. Et notre connaissance s'enrichit par le jeu des recoupements. « En préhistoire comme en archéologie ,seuls comptent les ensembles », dit Raymond Lantier [1]. C'est grâce à ces ensembles que nous arrivons à former une image de plus en plus cohérente de l'homme préhistorique.

On a même voulu essayer d'aller plus loin et de tirer des données psychologiques de la structure des crânes ou de la forme et de la facture des silex taillés [2]. De telles déductions sont bien incertaines, et, en fait, seule l'ethnologie peut apporter quelque lumière aux problèmes d'interprétation. Elle nous offre une grande partie de la gamme des faits culturels que nous croyons découvrir chez les hommes préhistoriques. Peuples attardés au stade de la cueillette, de la chasse ou de la pêche, peuples pratiquant un élevage ou une agriculture rudimentaires, sont encore nombreux, disséminés à peu près sur toute la surface de la terre dans des ambiances très variées. De leur vie, de leurs mœurs, de leurs techniques, on tire des conclusions sur la vie, les mœurs et les techniques des peuples préhistoriques.

Le racloir de silex taillé s'explique mieux quand on connaît le couteau eskimo, utilisé pour la préparation des peaux, et on n'aurait peut-être pas aussi facilement compris la présence dans certaines pâtes néolithiques de minuscules fragments de coquilles si l'on ne savait que certaines peuplades d'Afrique mélangent, à titre de dégraissant, leur terre glaise de coquilles écrasées. Pour de tels problèmes, la comparaison ethnographique est toujours légitime et ne prête guère à discussion. Le raisonnement y est sans cesse soutenu par les faits qui rendent impossible tout écart brutal de l'imagination. Il s'arrête dès que disparaissent les faits, qui doivent être d'ailleurs abondants et convergents. Il n'y a sans doute pas démonstration logique, il y a du moins présomption assez forte pour ne pas laisser place au doute ou à la discussion.

Ainsi pour l'étude des objets, de leur utilisation, de leur fabrication, de leur répartition géographique, de leur évolution, les données de la préhistoire se combinent assez facilement avec celles de l'ethnologie. Il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de faits culturels plus complexes et moins directement liés aux substrats matériels auxquels ils ont donné naissance, lorsqu'il s'agit par exemple d'interpréter

1. R. LANTIER, *Tendances nouvelles en Archéologie*, Ac. des Inscr. et B.-L., séance du 21 octobre 1947.

2. E. BREUER, « Note sur une méthode d'analyse psychologique des documents préhistoriques avec quelques exemples d'application au domaine technique », *Archives des Sciences*, Genève, 155e année, vol. III, fasc. I, 1950, pp. 75-79.

des œuvres d'art ou des sépultures. Nous trouvons alors dans les peuples actuels plus d'indications et d'hypothèses que de certitudes, et les travaux de laboratoire ne nous sont plus guère d'aucune utilité.

Les limites de notre connaissance du passé se resserrent en même temps que nous nous éloignons davantage de son substrat matériel et que nous en recherchons l'aspect subjectif. [1]

A. L.

1. Voir appendice p. 329.

CHAPITRE XI

RECONSTITUTION DES VOIES DE COMMERCE

L'identification pétrographique des instruments de pierre

Pour bien saisir les processus préhistoriques dans toute leur complexité une exacte connaissance des voies de commerce ou de migration est d'une importance primordiale. Cette connaissance, malheureusement, rencontre de nombreuses difficultés. Elle doit se référer à des objets perdus ou laissés par l'homme au cours de ses déplacements, et dont on ne sait pas toujours s'ils ont été importés ou si ce sont des copies locales mises au rebut, comme les poteries quand elles sont brisées et inutilisables. Les études morphologiques et typologiques de tels objets jouent naturellement un rôle important, mais elles ne peuvent jamais que donner des approximations.

Heureusement, tandis que la géologie étudie l'écorce terrestre, une de ses branches, connue sous le nom de pétrographie, étudie les roches que l'homme peut utiliser comme matière première dans des buts variés et qui, en aucun cas, ne peuvent être fabriquées artificiellement par lui. Collectionner ces roches, les préparer en coupes minces pour les examiner au microscope et les identifier, en faire l'inventaire et les cataloguer, tel est le travail habituel de certains musées d'Angleterre comme le Geological Survey and Museum of Great Britain. Ainsi sont constituées des collections aux références nombreuses qui couvrent de vastes régions et auxquelles on peut se reporter pour identifier des échantillons de roches trouvées loin de leur contexte géologique originel. La comparaison microscopique d'une coupe mince d'un échantillon de roche avec des coupes de provenance connue permet de déterminer son origine avec certitude, quelle soit la distance que lui aient fait parcourir l'homme ou les agents naturels. Il est évident que lorsque un spécimen a été transformé par éclatement ou polissage en un outil ou en un instrument connu, on peut

en inférer une action humaine ; et, pour les temps post-glaciaires, on a surtout à étudier des haches polies transportées par l'homme et non par des agents naturels.

Ainsi, l'analyse pétrographique des outils et des objets de pierre fournit une méthode pour identifier la provenance exacte de la roche utilisée, et, l'étude des cartes de répartition d'outils tirés de roches identiques, permet de déterminer la route probable par laquelle ils furent transportés. Leur nombre en outre peut nous donner des indications sur la valeur que l'on devait attacher à la roche en question au moment de leur fabrication. Mais il faut dès le début insister sur ce fait que, pour avoir une réelle valeur, la méthode doit impliquer un double processus : l'identification pétrographique de la roche elle-même, et la comparaison de cette roche avec des coupes de roches connues provenant de gisements connus. C'est seulement de cette façon que l'on pourra déduire avec certitude et exactitude la route suivie par les échantillons étudiés depuis leur gisement d'origine.

Ce fut grâce à une exacte application de ces principes que les recherches pétrographiques du Dr. H. H. Thomas à Stonehenge donnèrent d'aussi brillants résultats. Il put ainsi prouver qu'une grande proportion des pierres de ce monument, celles de caractères sédimentaires que l'on a appelées « sarsens », viennent des dépôts locaux du Wiltshire ; bien plus importante encore fut sa conclusion que les « bluestones » du cercle intérieur du monument et du fer à cheval, qui présentent elles-mêmes des caractères variés, étaient étrangères au Wiltshire et qu'elles avaient été apportées par l'homme des affleurements des Presely Mountains dans le Pembrokeshire, South Wales, qui sont situés à quelque 130 miles de là [1]. Il est intéressant à ce sujet de rappeler quelques-unes de ses observations : « Nous avons à Stonehenge une série de pierres de provenance étrangère, apportées par mer ou par terre, comme on n'en a jamais rencontré à ma

1. *Antiquaries Journal*, III, 1923, p. 239. Un travail ultérieur fait par l'auteur de cet article sur un terrassements situé non loin de là, le Stonehenge Cursus, a montré la possibilité que les « bluestones » de Stonehenge aient originairement constitué un monument séparé situé à 3/4 de miles. Ce premier cercle de pierre aurait été démantelé par la suite et ses pierres réutilisées à une époque postérieure au cours de la construction du monument qui a subsisté jusqu'à nos jours (*Archaeological Journal*, CIV, 1948, 7). On a pu aussi démontrer que quelques unes des « bluestones » provenaient de l'estuaire de Milford Haven dans le Pembrokeshire, et qu'elles ne viennent pas toutes des Presely Mountains. Cette constatation implique que ces pierres du Pays de Galles furent transportées en partie par voie de mer dans le Wiltshire. Une étude de la répartition de la preselite a paru récemment dans le *Antiquaries Journal* (XXXI 1950, 145).

connaissance dans aucune région à vestiges mégalithiques. On connaît naturellement, en Angleterre comme ailleurs, des exemples isolés de pierres apportées de très loin, mais il est en général facile de comprendre les raisons de leur choix. Par exemple, l'examen des vestiges mégalithiques des environs de Carnac montre que toutes les pierres des alignements de Menec et de Kermario, comme celles des dolmens voisins, sont en roches granitiques qui proviennent du voisinage immédiat. Elles ont les mêmes rapports avec la région avoisinante que les « sarsens » de Stonehenge avec la plaine de Salisbury. Mais la fameuse pierre gravée qui se trouve à l'extrémité du grand dolmen de Locmariaquer, connu sous le nom de Table des Marchands, est de granulite quartzeuse qui a sans doute été apportée de beaucoup plus loin que les autres dalles de granit avec lesquelles elle se trouve associée. Ce choix est probablement dû à la texture de la roche et à la finesse de son grain qui la rend particulièrement apte à être travaillée et gravée. Monsieur Le Rouzic m'a dit que l'on trouve des exemples analogues parmi les pierres gravées de l'île de Gavr'inis et que, dans le voisinage, cette utilisation de roches autres que le granit est illustrée par les vestiges mégalithiques de la presqu'île de Quiberon. »

Ces résultats semblèrent si intéressants à M. A. Keiller qu'en 1927, il décida avec l'aide du Dr Thomas d'appliquer les mêmes méthodes à l'étude des haches polies qu'il trouvait dans ses fouilles du camp néolithique (causewayed camp [1]) de Windmill Hill près d'Avebury. Un peu plus tard les résultats de ce travail lui permirent de prouver par les mêmes moyens que deux haches trouvées dans le comté d'Antrim, en Irlande du Nord, provenaient également des Presely Mountains [2]. Des archéologues du Sud de l'Angleterre comprirent aussitôt la valeur de ce nouveau moyen d'aborder un problème qui, jusque là, avait semblé insoluble, et en 1936 le South-Western Group of Museums and Art Galleries constituait un Sous-Comité chargé de poursuivre le travail. Depuis ce temps ce Sous-Comité a travaillé sans interruption sur tous les instruments de pierre d'origine étrangère, silex exceptés, trouvés dans les comtés du Sud-Ouest de l'Angleterre, et a publié deux rapports sur les résultats de ses travaux [3].

1. Les « causewayed camps » dont le site type est celui de Windmill Hill près d'Avebury, et dont on connaît au moins huit exemples ne sont sans doute pas des habitats, mais des enclos à bétail probablement d'usage saisonnier (N. d. T.).

2. *Antiquity*, X, 1936, p. 220.

3. *Proceedings Prehistoric Society*, VI, 1941, p. 50 ; XIII, 1947, p. 47.

En 1945, le Council for British Archaeology jugea le travail accompli assez important pour l'archéologie pour organiser sur des bases nationales ce Sous-Comité qui jusqu'ici en somme avait eu des activités uniquement régionales, et pour diviser l'ensemble du pays en régions ayant chacune à leur tête un responsable chargé de l'examen des instruments en provenant. Le travail de ces nouveaux organismes n'est pas encore assez avancé pour justifier la publication de rapports, et on se limitera dans cette étude aux résultats obtenus par le premier Sous-Comité du Sud-Ouest.

Buts des recherches et projets

Comme nous venons de le dire, la détermination exacte des roches utilisées pour la fabrication des instruments de pierre et de leur lieu d'origine, associée à la connaissance du lieu où l'objet a été trouvé, élargirait et préciserait nos données sur les anciennes routes commerciales des temps néolithiques et du premier âge du Bronze.

Nos musées et beaucoup de collections privées sont encombrés de haches de pierre polie — les rayons gémissent littéralement sous leur poids. Beaucoup les considèrent comme des sortes de trésor ayant une valeur intrinsèque, même lorsque l'on ne sait rien à leur sujet, rien sur leur origine, leur âge, leur provenance. Beaucoup de collectionneurs encore aujourd'hui ont l'impression que c'est perdre son temps que de chercher à en tirer des renseignements par des moyens scientifiques — et combattent cette folie par tous les moyens en leur pouvoir. Il est curieux de constater qu'il n'est pas encore admis par tout le monde que l'archéologie n'est qu'une branche des sciences de l'homme et que l'étude analytique de ses outils et autres objets peut lui faire faire d'appréciables progrès.

Il est vrai que, dans de nombreux pays, depuis de longues années, les haches de pierre ont fait l'objet d'études typologiques et il est non moins vrai que seule la confusion est résultée de ces études. On fit alors appel à d'autres méthodes d'études pour essayer de tirer de ces objets sans vie quelque précision sur l'histoire de leur passé. Des essais furent tentés, et en particulier par le Professeur C. Daryll Forde, pour classer certaines haches de roches facilement identifiables comme la jadéite par exemple, que l'on rencontre dans la culture mégalithique de Bretagne, et dont

quelques unes ont pu parvenir jusque sur les côtes du Sud de l'Angleterre [1]. Mais ces essais étaient basés sur le seul examen macroscopique. Or ce genre d'examen ne peut donner de résultats décisifs, et de récentes études ont montré que la question de l'origine de la jadéite pourrait être beaucoup plus complexe qu'on ne le supposait généralement. En tout cas, l'origine de la jadéite utilisée pour les haches de France ou de Grande-Bretagne n'a pas encore été élucidée, et il serait urgent que l'on entreprît en France un travail sur ce problème.

La technique de l'identification pétrographique.

Il ne semble pas que l'on se rende toujours bien compte que le polissage des haches, puis leur altération par des agents physiques ou chimiques en masquent souvent le peu de caractères de surface qui soient utilisables, et qu'ainsi on ne peut obtenir aucune indication pétrographique valable avant d'avoir prélevé une coupe mince à l'intérieur de l'échantillon. Il y a longtemps que l'on s'est aperçu que des déductions basées sur un examen macroscopique n'avaient guère plus de valeur que des devinettes et qu'il fallait donc trouver une méthode pour retirer une coupe mince de l'intérieur de l'objet sans en détruire la symétrie et la beauté.

Après de nombreux essais, une méthode fut mise au point par laquelle on découpait du corps de l'échantillon un mince fragment en forme de plaquette. Le fragment est ensuite aminci jusqu'à ce qu'il atteigne l'épaisseur requise pour être monté sur une lamelle et soumis à l'examen pétrographique. Le grand avantage de cette méthode est que le trou ou l'égratignure qui en résulte peut facilement être bouché avec du plâtre de Paris et coloré par un artiste de façon à reproduire exactement la couleur et la texture de l'objet. Un autre grand avantage de la méthode est de permettre de constituer une importante collection de coupes qui seront conservées pour des comparaisons ultérieures avec de nouveaux spécimens.

1. Sur l'usage de la roche verte (jadéite, callais, etc.) dans la culture mégalithique de Bretagne voir le *Journal Royal Anthropological Institute*, LX, 1930, p. 211. Pour les haches de jadéite en Angleterre et en Ecosse, voir *Antiquaries Journal*, XII, 1932, p. 167, et pour une carte de répartition voir les *Proceedings Prehistoric Society of East Anglia*, VII, 1933, pl. V, fig. 6B, p. 154, et l'étude récente du Professeur S. Piggott et de T. G. E. Powell dans les *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland*, LXXXIII, 1948-49, p. 137.

et de pouvoir ainsi se référer à d'anciennes identifications sans avoir a persuader le propriétaire de prêter une seconde fois ses haches pour un nouvel examen. On a remarqué en fait que les simples descriptions verbales variaient trop avec la personnalité de l'observateur et que rien ne pouvait remplacer la comparaison microscopique directe des échantillons en question. Deux fichiers identiques sont tenus à jour par le pétrographe et par le secrétaire de l'organisation dans lesquels sont notés pour chaque échantillon enregistré, tous les faits intéressants, y compris un rapide schéma de l'outil montrant ses traits caractéristiques.

Déjà plus de 650 haches ou autres outils et fragments de roche ont été examinés de cette façon. On s'était rendu compte dès le début qu'il ne serait pas toujours possible de déterminer immédiatement la provenance de la roche. On établit arbitrairement un certain nombre de groupes ayant chacun des caractéristiques pétrographiques bien déterminées, et ainsi l'identification du groupe et la détermination de la localité de la roche, par références aux Collections Nationales de coupes, peuvent être faites au fur et à mesure que s'en présente l'occasion. On a pu jusqu'à présent établir 12 groupes bien distincts et 5 sous-groupes, dont chacun pourra être attribué à des ateliers bien déterminés quand ceux-ci seront découverts. De cette façon, 320 environ des haches examinées se sont trouvées correspondre à l'un de ces groupes, et on a pu retrouver la localité d'origine de 7 groupes au moins, qu'il s'agisse d'ateliers déjà bien connus ou d'affleurements de roches qui n'ont pas encore été explorés archéologiquement.

Résultats des Recherches.

Tandis qu'il serait inutile, et d'ailleurs impossible, de résumer dans cette brève étude tous les résultats obtenus par le Sous-Comité et d'anticiper ainsi sur le troisième rapport qui est actuellement en préparation[1], il semble intéressant de reprendre ici certains aspects de la recherche qui empiètent particulièrement sur la préhistoire française et qui illustrent bien la méthode employée.

Nous devons noter d'abord que la répartition générale de tous les ateliers de haches en Angleterre a forcément été déterminée par les condi-

1. A paraître dans les *Proceedings Prehistoric Society*, volume XVII.

tions géologiques du pays. Dans les basses terres de l'Est et du Sud de l'Angleterre les dépôts sédimentaires contiennent du silex de la craie, et nous devions naturellement nous attendre à y trouver des mines de silex avec les industries de silex spécialisées qui les accompagnent. Les hautes terres de l'Ouest, de la Cornouaille à l'Ecosse, sont essentiellement constituées de roches ignées, et c'est dans cette aire à laquelle géologiquement appartient la Bretagne que nous devions vraisemblablement trouver des ateliers spécialisés dans la fabrication de haches polies en roche ignées. Or il se trouve que les ateliers travaillant les roches ignées, pour autant qu'ils aient été identifiés, sont distribués le long des côtes des deux côtés de la mer d'Irlande. S'agit-il d'une simple coïncidence, ou bien les peuples qui les premiers exploitèrent ces gisements doivent-ils être rattachés ou identifiés aux peuples navigateurs qui, à partir de la péninsule ibérique, répandirent vers le Nord la culture mégalithique par la route de l'Atlantique ? On ne peut le dire avec certitude. Mais une telle identification n'est pas invraisemblable si l'on considère que les problèmes se rapportant aux peuples mégalithiques sont liés à des problèmes géologiques en raison du choix qu'ils devaient faire de roches utilisables pour leurs tombes.

En tous cas les produits de leurs ateliers ou de gisements connus de roche ont pu être suivis jusqu'à leurs sources en Cornouailles, jusqu'aux Presely Mountains dans le Sud du Pays de Galles, jusqu'au fameux atelier de Graig Lwyd près de Penmaenmawr dans le Nord du Pays de Galles [1], jusqu'au groupe d'ateliers du Pic de Stickle ou de Great Langdale dans le Westmorland [2], et jusqu'à Tievebulliagh Hill, près de Cushendall en Irlande du Nord. On découvrira sûrement d'autres sources à mesure que le travail avancera, et particulièrement en France.

Les produits des ateliers de Graig Lwyd (groupe VII) et du Pic de Stickle (groupe VI) ont été pétrographiquement identifiés sur une aire étendue

1. *Journal Royal Anthropological Institute*, XLIX, 1919, p. 342 ; LI, 1921, p. 165. La roche est un granophyre augitique d'un bleu-gris pâle à la texture très serrée et dont les éclats se détachent en formant une ligne de fracture nettement conchoïdale. A l'examen microscopique on peut voir qu'elle est composée de petits cristaux de feldspath plagioclase déformé, de petits cristaux et groupe de cristaux arrondis d'augite, et de cristaux décomposés encore plus petits de pyroxène orthorombique dans une matrice microcristalline de quartz et de felspath avec des faisceaux et des cristaux isolés de magnétite. Dans une étude récente, le Dr G. E. Daniel a suggéré que l'exploitation initiale de ces ateliers pouvait être attribuée aux constructeurs de mégalithiques (*The Prehistoric Chamber Tombs of England and Wales*, 1950, p. 174).

2. *Proceedings Prehistoric Society*, XV, 1949, p. 1.

de la Grande Bretagne et ont été trouvés loin vers le Sud, jusqu'à Bournemouth et aux environs de Southampton, deux points qui semblent avoir eu une importance considérable pour le commerce à travers la Manche aux temps néolithiques. Cette importance ressort clairement de l'étude de la répartition d'un petit groupe de haches récemment identifié qui s'apparente pétrographiquement au granophyre augitique de Graig Lwyd mais qui ne lui est pas cependant identique (fig. 41). Un examen que, grâce

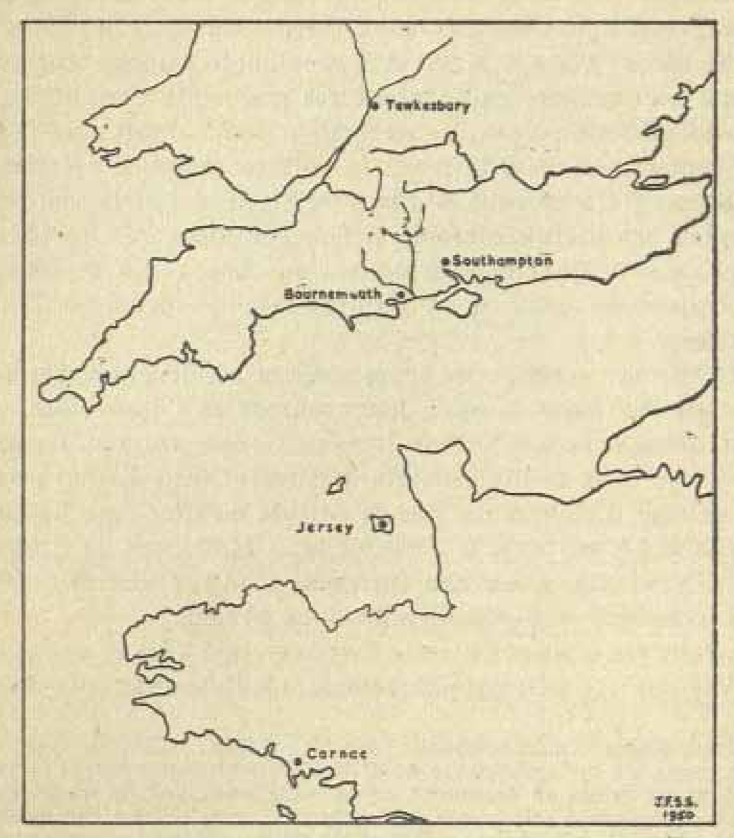


Fig. 41. — *Carte de répartition des haches étroitement apparentées à celles du groupe VII de Graig Lwyd (Galles du Nord).*

à l'amabilité de la Société Jersaise, on avait pu faire sur des haches de Jersey, avait montré que l'une d'elles ressemblait par certains de ses caractères à la roche de Graig Lwyd. Fallait-il l'introduire dans ce groupe

(groupe VII) ? ou la classer dans un sous-groupe séparé d'origine inconnue ? De nouveau toutes les lames de Graig Lwyd furent très soigneusement examinées, et on y trouva 5 lames identiques [1] qui avaient été prélevées sur des haches provenant respectivement de Tewkesbury, de Bournemouth, de Southampton, de Jersey et de Carnac [2]. En raison de leurs caractères pétrographiques distincts, on décida de les placer dans un sous-groupe séparé en attendant une identification ultérieure.

Ainsi nous avions pu dans ce cas prouver l'évidence d'un commerce ou d'une circulation de Bretagne au Wiltshire Avon ou inversement à travers la Manche ; cette circulation ayant probablement atteint Tewkesbury par Avebury, point de jonction archéologique entre ces deux aires mégalithiques d'une extrême importance. Malheureusement on ne sait si la matière de ces cinq haches est originaire de Graig Lwyd ou de Bretagne. De nouvelles recherches en France aideraient certainement à la solution de cet important problème.

Le groupe de haches de beaucoup le plus nombreux (groupe I) des comtés du Sud de l'Angleterre est constituée par une épidiorite ou roche verte [3] dont on n'a pu encore localiser exactement l'origine. Soixante-cinq spécimens environ ont été identifiés, et leur répartition représentée à la figure 42, montre bien que la région de Penwith en Cornouaille est fort vraisemblablement l'endroit d'où elles proviennent. Cependant, quoique des affleurements similaires de roche verte existent en Cornouaille et qu'un gros travail pétrographique ait été fait sur la région, aucune identification possible n'a encore été possible. Peut-être l'envahissement des

1. Macroscopiquement c'est une roche bleuâtre à grain fin dont la patine est brunâtre. Les coupes minces montrent des similarités évidentes de texture et de composition générale avec la roche de Graig Lwyd, mais elle en diffère sur trois points. Elle manque de phénocristaux de feldspath, contient plus de magnétite et le minéral ferro-magnésien est plus près d'une amphibole que l'augite grenue de la roche de Graig Lwyd.

2. Cette pièce de Carnac se trouvait au Musée de Bristol sous le n. F. 2383, mais elle fut perdue au cours du bombardement de Bristol pendant la guerre de 1939-45.

3. Macroscopiquement les outils de pierre du groupe I sont constitués par des roches éruptives, à grain moyen, vert foncé ou gris verdâtre et dont généralement l'altération a rendu la surface rugueuse.

Microscopiquement la roche est un gabbro ouralitisé, une épidiorite ou roche verte dans lequel de l'augite quelquefois légèrement ophitique apparaît en plaques décolorées ou brun pâle, sans structures cristallines et présentant des altérations en proportions variables en un hornblende vert fibreux le long des lignes de clivages et des bords extérieurs des grains. La présence de cette amphibole secondaire explique la texture serrée de ces haches. Les feldspaths, des albites sans doute, sont très altérés et plus ou moins criblés de petites aiguilles d'actinolite. Le principal minéral est l'ilmenite, souvent altéré en leucozène.

terres par les mers, comme il est arrivé à Er-Lannic [1] et autour de Jersey [2] est-il responsable de la disparition de quelque atelier ou de quelque affleurement ; mais on ne peut pas non plus exclure la possibilité que l'ensemble de ce groupe de haches provienne d'un trafic commercial avec la Bretagne où l'on rencontre quelquefois des roches vertes analogues, la Cornouaille

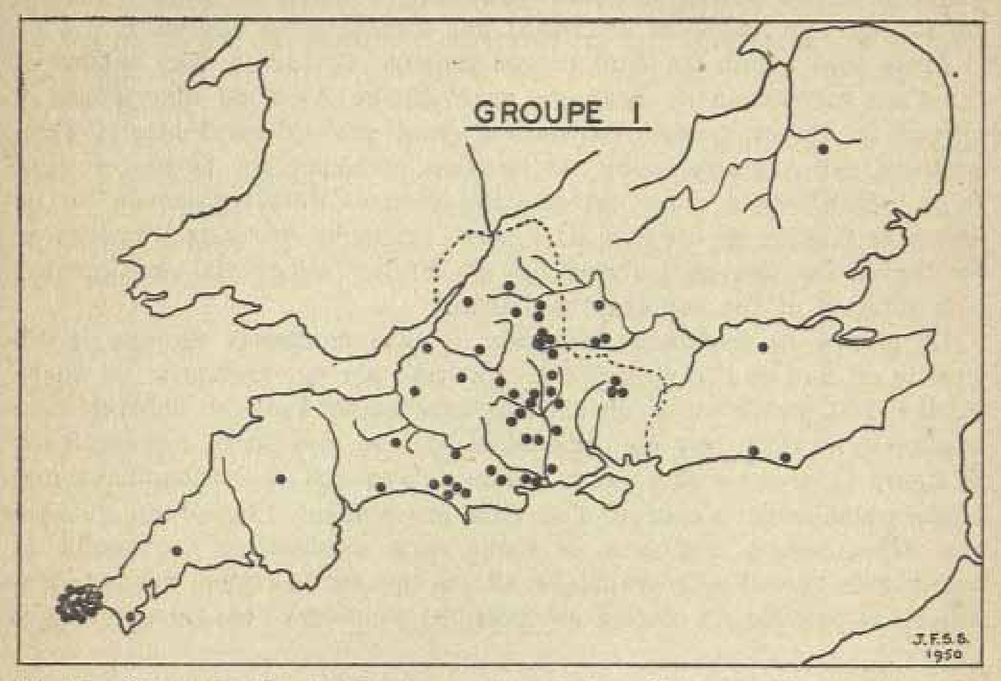


FIG. 42. — *Carte de répartition des haches du groupe I, en Angleterre. Noter que seule la région au sud-ouest du pointillé a été complètement étudiée.*

jouant dans ce cas le rôle de centre secondaire de distribution. De toutes façons il est certain que l'extension des recherches en France mettrait au jour des spécimens provenant de cet atelier inconnu.

Les produits de l'atelier du groupe I sont très variés, beaucoup plus que ceux d'aucun autre groupe ou d'aucun autre atelier connu de haches.

1. Z. LE ROUZIC, *Les Cromlechs de Er-Lannic*, 1930.

2. Mrs J. HAWKES a résumé les problèmes qui se posent à ce sujet dans *The Archaeology of the Channel Islands*, vol. II, The Bailiwick of Jersey, 1937, p. 51. Plus récemment le Dr Daniel a repris la question de l'envahissement de l'Angleterre du Sud par la mer en se référant spécialement aux Iles Scilly et à la Cornouaille dans son *Prehistoric Chamber Tombs of England and Wales*, 1950, 24, d'où il conclut qu'aux temps mégalithiques la ligne des côtes débordaient jusqu'à la ligne actuelle de 5 et même peut-être de 10 toises.

Ils comprennent non seulement de longues haches à talon pointu analogues à celles de Bretagne, mais aussi des haches et des marteaux perforés, des marteaux ou des pilons, des disques, des meules et des haches à larges bords coupant imitant les haches de cuivre. Un assemblage d'objets aussi variés doit impliquer un contact direct avec une aire de production de haches plus compliquée et techniquement plus avancée. Telle est bien la Bretagne. Dans son livre sur les constructeurs de mégalithes de l'Europe Atlantique, le Professeur V. G. Childe a déjà montré que la Péninsule Armoricaine avec son extension vers les Iles de la Manche devint un but de pèlerinage et reçut ainsi un bizarre assortiment de cultures superposées à la culture originelle des Néolithiques occidentaux ; les longues haches du Morbihan de fibrolithe et de roche verte, avaient de longs talons pointus et quelques unes avaient aussi les larges bords coupants [1]. De belles haches fabriquées dans des buts cérémoniels ou rituels et distincte de leur contre-partie utilitaire sont fréquentes à cette époque ; et il suffit de rappeler ici la très grande quantité de haches déposées comme mobilier funéraire dans des mégalithes bretons tels que ceux de Mané-er-Hroëk, du Mont Saint Michel et de Tumiac [2] et les représentations de haches comme objets cultuels [3] gravées sur la Table des Marchands [4], à la base de l'une des pierres du tumulus de Crucuny (Er Mané) [5] et sur les tombes en galerie de la culture de SOM [6].

La contribution de la Bretagne à l'introduction des haches de pierre polie en Angleterre durant la phase A du Néolithique Occidental n'est guère douteuse. C'est ce que montre éloquemment l'étude de la répartition et des associations d'un autre petit groupe de haches de pierre polie [7] (groupe IVA) dont la provenance n'a pas encore pu être localisée en Angleterre (fig. 43).

1. V. G. Childe, *Dawn of European Civilization*, 1947, p. 305.

2. L. Marsille, *Catalogue du Musée Archéologique de la Société Polymathique du Morbihan*, 1921, p. 43-51.

3. Voir à ce sujet Déchelette, *Manuel d'Archéologie*, I, 1924, p. 606.

4. Z. Le Rouzic et C. Keller, *La Table des Marchands*, 1923 ; voir aussi Le Rouzic, Carnac, *Menhirs-statues avec signes figuratifs et amulettes ou idoles des dolmens du Morbihan*, 1924.

5. Z. Le Rouzic et M. et Mme Saint-Just Péquart, *Carnac, fouilles faites dans la région*, 1923, p. 40.

6. V. G. Childe et N. Sandars, *L'Anthropologie*, LIV, 1950, p. 4.

7. Macroscopiquement les haches du Groupe IV A. sont constituées par une roche à trémolite à cristaux enchevêtrés. Microscopiquement cette roche consiste en amas séparés de petites aiguilles de hornblende, avec de l'épidote granuleuse ; on y trouve aussi de la chlorite et de l'ilménite.

Ce groupe est exclusivement associé avec certains des plus anciens camps (causewayed camps) du Néolithique A du Sud-Ouest de l'Angleterre et peut ainsi servir de repère chronologique.

Il nous faut rappeler maintenant qu'en Angleterre, seules les haches de silex sont trouvées dans les premiers établissements du Néolithique A dans les comtés du Sud les plus proches de France ; par exemple dans les

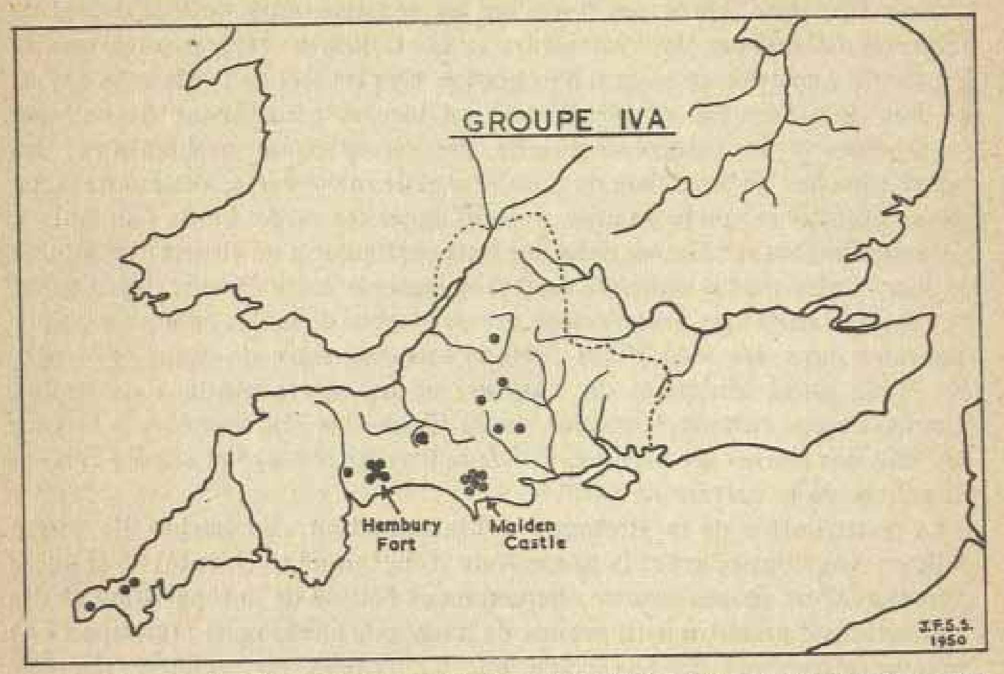


FIG. 43. — *Carte de répartition des haches du groupe IV A en Angleterre. Noter que seule la région au sud-ouest du pointillé a été complètement étudiée.*

camps (causewayed camps) de Whitehawk [1] et de Trundle [2] dans le Sussex, et dans le site type de Windmill Hill lui-même dans le Wiltshire. Il faut rappeler aussi que les premières mines de silex sont liées en Angleterre avec ce même Néolithique A. Et il semble raisonnable d'en conclure que les pionniers de Windmill Hill sont arrivés des pays crayeux de France et de Belgique alors qu'ils connaissaient déjà fort bien la valeur des haches de silex pour leurs techniques agricoles ou autres et qu'ils savaient pratiquer l'extraction du silex.

1. *Antiquaries Journal*, XIV, 1934, p. 99.
2. *Sussex Archaeological Collections*, LXX, p. 33 ; LXXII, p. 100.

D'autre part une autre branche de la même culture néolithique occidentale a dû séjourner un certain temps dans une région de la Bretagne et du Nord-Ouest de la France où le silex n'existe pas avant de gagner par la Manche la Cornouaille et le Devonshire. En effet dans des camps néolithiques tels que Hembury Fort dans le Devonshire [1], et Maiden Castle dans le Dorset [2] on trouve à la fois des poteries grossières et sans ornement à fond rond et une grande quantité de « trumpet lugs ». Or le Professeur Wheeler et le Professeur Piggott ont pu suivre les traces de ces « trumpet lugs » jusqu'en Bretagne et plus loin vers le Sud et le Centre de la France, au Camp de Chassey par exemple. Par suite, pour la distinguer du type normal de Windmill Hill, on appelle maintenant « type de Hembury » la poterie néolithique anglaise possédant ces lugs (oreilles) caractéristiques dérivées de la forme bretonne.

Mais c'est dans les premiers camps néolithiques (causewayed camps) à Hembury Fort et à Maiden Castle, et dans leurs premiers dépôts à peu près contemporains de la culture de Windmill Hill des régions crayeuses, que les haches de roche verte, notre groupe IV A, font leur première apparition. Cette corrélation est particulièrement intéressante, et nous permet d'utiliser ce groupe bien déterminé de haches pour résoudre des problèmes de datation. Les implications de ce fait pour la préhistoire française sont en effet évidentes. Laquelle des nombreuses cultures bretonne produisit les premières haches contemporaines du Néolithique A anglais ? Et celles-ci correspondent-elles pétrographiquement à notre groupe IV A ? On peut supposer que la culture qui contribua à l'introduction des haches de roche verte en Cornouaille et dans le Devonshire, contribua aussi à l'introduction des « trumpet lugs » du type Hembury anglais. Mais nous n'avons aucune certitude sur ce point.

Au fur et à mesure qu'avance notre travail, un point devient de plus en plus évident : seul le groupe de haches IV A apparaît dans la phase la plus ancienne du Néolithique A. Tous les autres groupes examinés dont on connait plus ou moins bien la provenance, n'ont été trouvés que dans des contextes néolithiques plus tardifs, en particulier avec la culture du type de Peterborough et celle connue sous le nom de Grooved Ware, de la phase B du Néolithique. Nous savons aussi que les ateliers de Graig Lwyd et de Langdale ont été exploités en même temps puisque souvent leurs produits sont trouvés en association directe. Comme, autant que

1. *Devon Archaeological Exploration Society Excavation Reports*, 1930-35.
2. R. E. M. Wheeler, *Maiden Castle, Dorset*, 1943, p. 137.

nous le sachions, aucune hache d'aucun de nos groupes n'a encore été trouvée associée avec la civilisation des « Beaker Folk », il semble que l'on puisse en conclure que cette industrie bien particulière de haches de pierre polie, différente naturellement de celle liée à l'extraction du silex, a disparu à l'arrivée des « Beaker Folk ».

Il est un fait certain en tous cas : un mouvement inverse en direction du Sud, remontant le courant de migrations qui se dirigeait vers le Nord par les côtes de la Mer d'Irlande, a apporté vers le Sud les produits de

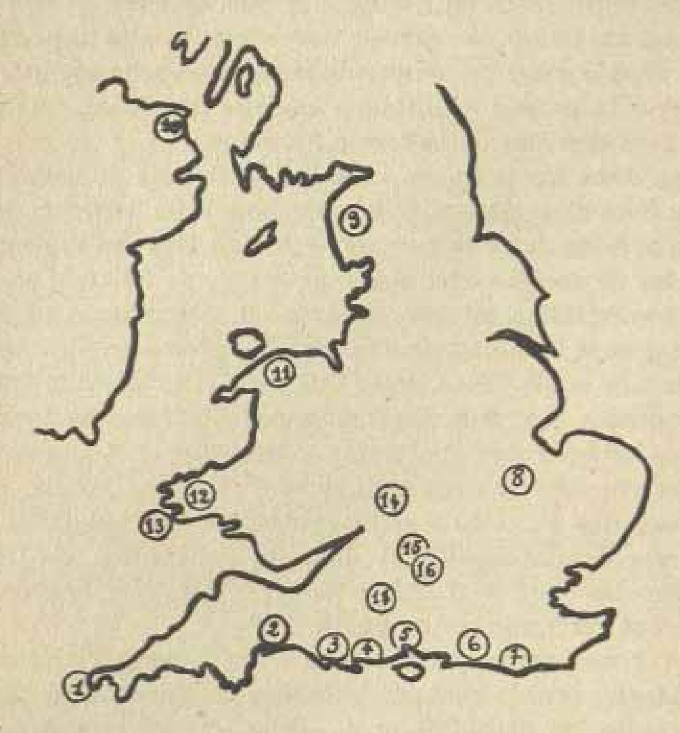


Fig. 44. — *Principaux sites cités dans le texte* : 1. *Penwith*. 2. *Hembury Fort*. 3. *Maiden Castle*. 4. *Bornemouth*. 5. *Southampton*. 6. *Trundle*. 7. *Whitehawk*. 8. *Peterborough*. 9. *Langdale*. 10. *Tievebulliagh Hill*. 11. *Graig Lwyd*. 12. *Presely*. 13. *Milford Haven*. 14. *Tewkesbury*. 15. *Windmill Hill*. 16. *Avebury*. 17. *Stonehenge*.

ses ateliers situés dans le Pays de Galles, dans le Westmorland et en Irlande du Nord. Jusqu'où ? nous ne pouvons le dire. Nous savons seulement que les produits de tous les ateliers identifiés sont répartis le long de la côte sud de l'Angleterre. A partir de ce fait, il n'est pas déraisonnable de penser que les produits des ateliers anglais seront localisés en France

et même peut-être plus loin quand la technique de l'identification pétrographique sera plus largement connue et pratiquée. L'utilité d'une telle méthode pour la datation relative de cultures géographiquement dispersées est évidente, quoique les résultats doivent naturellement en être utilisés avec précaution, car il est à peu près certain que dans certains cas les haches avaient une signification magique et étaient conservées par des générations successives comme un trésor. L'étude des associations du groupe de haches I le montre bien. En effet, quoique ces haches datent certainement du Néolithique récent, certaines, en Angleterre, ont été trouvées dans des contextes du Premier Age du Fer ou même dans des sites romains. Ce qui ne signifie pas que le même atelier ait été encore en exploitation, mais plutôt que ses produits furent trouvés à une date ultérieure et soigneusement conservés pour leur pouvoir magique ; jusqu'à nos jours d'ailleurs on les a appelés « pierres de tonnerre » et on leur a attribué une origine céleste ou divine.

Problèmes et perspectives

Cette étude montre l'orientation du travail actuellement entrepris en Angleterre. Bien des connaissances ont été acquises, mais des problèmes nombreux et nouveaux se sont levés ; beaucoup d'entre eux ne seront résolus que lorsque le champ des recherches se sera considérablement étendu. En France en particulier, de nombreux problèmes attendent une solution ; il faudrait par exemple chercher quand et par qui fut introduite la technique des haches polies, et si elle eut d'abord des buts utilitaires ou cérémoniels. Pour quelles cultures déterminées peut-elle être considérée comme une invention et non comme une simple importation ? Ces haches sont-elles exclusivement associées avec les cultures mégalithiques, ou leur technique fut elle empruntée à une culture néolithique occidentale préexistante par les peuples mégalithiques ? Combien peut-on identifier d'ateliers distincts et en combien de groupes pétrographiques peut-on diviser l'ensemble des haches polies de France ? Quelles étaient leurs spécialités ? Pratiquaient-ils la perforation ? Ces haches étaient-elles vendues ou transportées à de grandes distances ? Et finalement quelles relations y eut-il entre ces ateliers de haches polies et ceux qui exploitaient les silex du Grand Pressigny ?

Le principal obstacle qui empêche de rapides progrès dans ce domaine est sans doute le manque de pétrologues qualifiés disposant d'assez de loisir et s'intéressant assez à la question pour se plonger dans ce travail et comparer les roches constituant les haches polies avec les échantillons géologiques des différentes collections et les coupes déjà existantes. Tant qu'il ne se trouvera personne pour faire ce travail, puis pour le coordonner et l'interpréter, nous ne pouvons attendre que de bien lents progrès.[1]

J. F. S. Stone
B. A., D. Phil., F. S. A.
Salisbury



1. Voir appendice p. 330-331.

CHAPITRE XII

LES MICROORGANISMES DES SILEX [1]

La possibilité de déterminer la provenance des silex par leur étude microscopique fut signalée il y a quelques années. Depuis la question semble avoir fait peu de progrès dans ses applications à la préhistoire. Le principe de la méthode est analogue à celui qui permet de déterminer l'origine des roches constituant les haches polies. Dans les deux cas, il s'agit de trouver dans la roche étudiée un caractère qui soit propre à un niveau ou à un gisement défini d'où elle proviendra nécessairement ; mais tandis que les roches utilisées pour la fabrication des haches polies sont caractérisées par leur texture, on peut définir un silex par les microorganismes qu'il contient. Malheureusement les microorganismes sont communs à tous les gisements d'un même niveau, et par suite les résultats des identifications sont fort limités.

Les silex de France, pour leur très grande majorité, se sont formés à la fin de l'époque secondaire dans des vases marines dont l'accumulation a donné les bancs de craie du crétacé. Le mécanisme de la formation du silex est encore mal connu et sujet à controverse. Il correspond en tout cas à un phénomène de concentration de la silice au sein d'une extraordinaire accumulation d'animalcules à coquilles calcaires (coccolithes et foraminifères) qui devaient composer la masse principale de la craie. La silice qui compose les rognons de silex semble en grande partie d'origine organique et provient de microorganismes siliceux, comme les Radiolaires et les Diatomées, et de spicules d'Eponges ; l'examen microscopique permet parfois d'en reconnaître les traces, soit dans la masse même de silex quand il s'agit de spicules, soit seulement dans la poudre que l'on trouve à l'intérieur de certains silex creux pour les Radiolaires et les Diatomées. Outre ces débris les silex contiennent des microorganismes

1. C'est à Monsieur Georges DEFLANDRE, Directeur du Laboratoire de Micropaléontologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes que sont dûs la plupart des renseignements de ce chapitre dont il a bien voulu relire le texte.

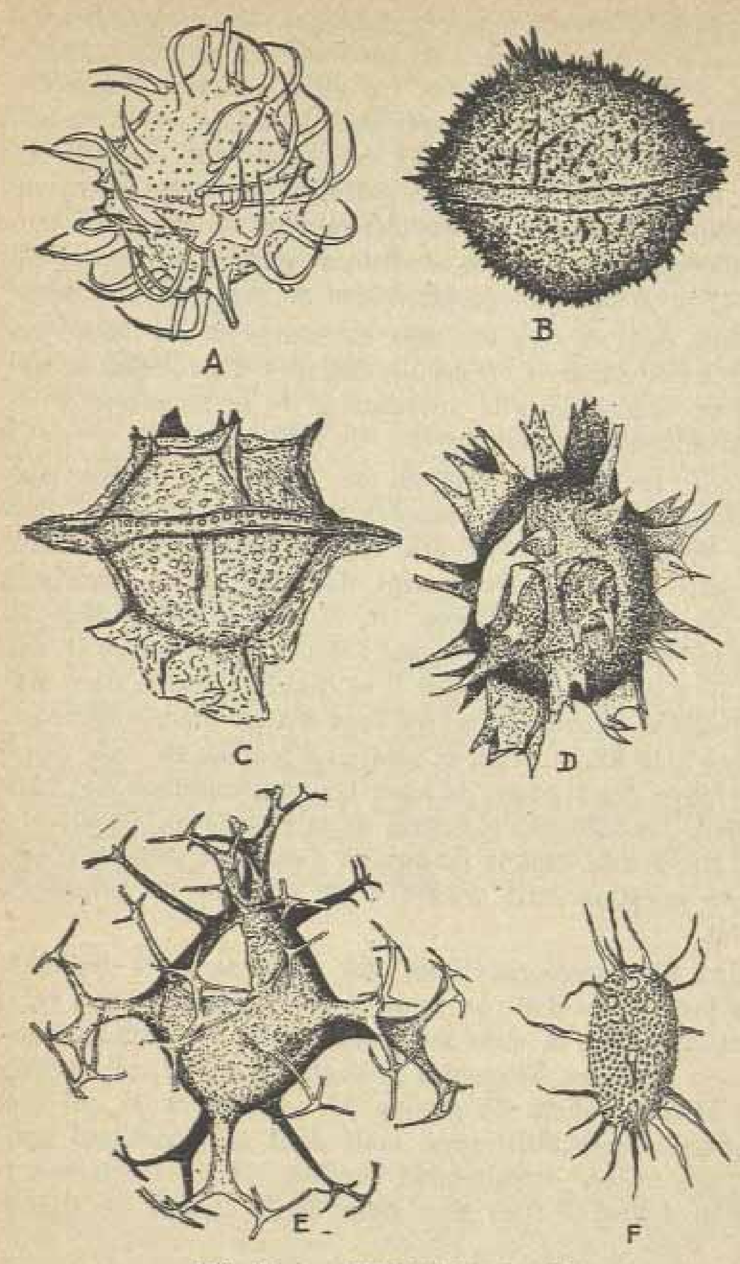
parfois nombreux, facilement observables et datant de leur formation, c'est à-dire, dans la plupart des cas, de la fin de l'ère secondaire.

La découverte des microorganismes du silex remonte à plus d'un siècle puisque c'est en 1838 que ceux-ci furent signalés pour la première fois par le savant allemand Ehrenberg. Sa découverte cependant ne suscita guère d'intérêt, et ce n'est qu'en 1922 qu'un autre Allemand, W. Wetzel, remit la question à l'ordre du jour. Depuis, reprises en 1933 par O. Wetzel et en 1934 par G. Deflandre, les recherches se sont développées en Allemagne et en France, au laboratoire de Micropaléontologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes.

A côté des microorganismes minéralisés généralement reconnus dans d'autres roches sédimentaires, les microorganismes des silex comprennent des espèces uniquement composées de matières organiques. Leurs vestiges ne sont pas minéralisés et il est possible de les colorer par les méthodes classiques de l'histologie. On a même pu les extraire du silex et en faire des préparations colorées au bleu de méthylène tout comme du plancton marin actuel. Ces microorganismes participaient à la constitution du plancton des mers secondaires. Certains ont aujourd'hui disparu, d'autres sont encore représentés dans les océans actuels par des formes voisines ou même identiques. A côté de grains de pollens et de Foraminifères, on retrouve dans les silex des Flagellés, surtout des Dinoflagellés, des Hystrichosphaeridés, d'autres microorganismes de position systématique encore imprécise, dont les formes variées et souvent intactes laissent une extraordinaire impression de fraîcheur. (fig. 45)

Or la proportion des espèces, des genres ou des familles des microorganismes représentés dans les silex varie selon les étages d'où ils proviennent, et l'examen microscopique d'une lame mince prélevée sur un silex (ou, plus simplement, de quelques minces éclats), pourrait théoriquement permettre d'identifier son *niveau géologique* d'origine. Par exemple l'étude microscopique d'un silex permettra de dire s'il provient du jurassique ou du crétacé, du crétacé ou de la meulière, ou, d'une façon plus précise, du bathonien ou du bajocien, etc. Cette classification des microorganismes du silex d'après l'âge de leur formation n'est encore qu'amorcée, mais elle a déjà donné des résultats prometteurs.

La connaissance des provenances des matières premières de l'industrie a une importance primordiale pour l'étude des tribus préhistoriques et de leurs aires d'action (migrations saisonnières, commerce, etc.), et l'on a songé à appliquer aux recherches préhistoriques cette nouvelle méthode



A. — Type de Dinoflagellé : magnifique Hystrichodinium, fréquent dans les silex du Bassin parisien. Il n'est sans doute pas une poutre de ciment armé qui n'en contienne au moins quelques-uns.

B. — *Palaeoperidinium castanea.*

C. — *Dinopterygium cladoides.*

D. — *Hystrichosphaeridium ferox.*

E. — *Hystrichosphaeridium ramuliferum.*

F. — *Hystrichosphaeridium xanthiopyxides.*

(D'après G. Deflandre).

Fig. 45 — *Microorganismes des silex.*

de localisation. Malheureusement il est évident que de la connaissance du *niveau géologique* d'où provient un silex on sera bien souvent impuissant à déduire sa *situation géographique*. En effet, plusieurs bancs de silex de niveaux différents peuvent affleurer dans la même région, inversement un même niveau est représenté en des points très éloignés, et d'autre part bien des silex de l'industrie paléolithique proviennent de rognons ramassés dans le lit des rivières et déposés par les eaux bien loin de leur gisement d'origine. Toutes ces conditions rendent la plupart du temps impossible la détermination géographique de l'origine d'un silex.

Pourtant des essais dans ce sens ont déjà été tentés et ont donné des résultats non dépourvus d'intérêt. Dans un cas, des silex taillés mésolithiques dont on se demandait s'ils provenaient de la meulière ou du crétacé, purent être attribués au crétacé [1].

Une autre expertise fut faite en 1949 sur des silex de la station néolithique de la Brèche au Diable, à Soumont (Calvados). Le silex dans lequel sont taillés les instruments de cette station est de couleur noire, parfois un peu brunâtre. Il se taille facilement, donne de beaux conchoïdes de percussion et fournit de belles lames. Or, M. Bigot, qui étudiait la station, ne connaissait pas dans la région qui entoure la Brèche au Diable de terrain offrant de silex comparables, et il se demandait si le silex noir de la Brèche au Diable ne provenait pas du Pays d'Auge dont le bord est, à vol d'oiseau, situé à 20 km, à l'Est, et limite un plateau de craie cénomanienne. On y trouve des rognons de silex noir qui auraient fort bien pu servir de matière première à l'industrie de la Brèche au Diable. Le problème pouvait être résolu dans la mesure où il était possible de déterminer si le silex en question était crétacé (Pays d'Auge), ou jurassique (provenance locale).

La détermination des microorganismes des silex de cette industrie donna des formes jurassiques dont on ne peut dire d'ailleurs, dans l'état actuel de nos connaissances, si elles sont bajociennes ou bathoniennes. On y a distingué en effet des *Gonyaulax cladophora*, des *Micrhystridium Bigoti*, de petits *Micrhystridium* du groupe *M. insconspicuum* qui sont des formes jurassiques, caractéristiques, mais dont la répartition stratigraphique n'est pas encore parfaitement précisée. De toutes façons la question posée était tranchée : les silex noirs de la Brèche au Diable,

1. L'expertise avait été demandée par M. FURON, du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. Elle n'a pas été publiée.

malgré leur ressemblance avec les silex de la craie du pays d'Auge, ne pouvaient provenir de cette région et étaient d'origine locale [1].

L'expertise de la Brèche au Diable est la première qui ait donné des résultats directement utilisables. Il semble qu'elle puisse être suivie de beaucoup d'autres car des problèmes du même type se posent souvent aux préhistoriens. Il semble surtout qu'il serait facile de déterminer par cette méthode si deux silex peuvent ou non provenir d'un même gisement. L'étude de la répartition de certains types d'industrie, et nous pensons en particulier à celle du Grand Pressigny, où la micropaléontologie interviendrait alors comme moyen de contrôle, en serait sans nul doute hautement facilitée. Une étude de ce genre a déjà été amorcée sur les éclats et les instruments d'Olendon (Calvados). Cette station dont les instruments de grande taille et fortement patinés ont été taillés sur place est un véritable atelier de taille s'étendant sur plusieurs hectares. Il serait intéressant d'en poursuivre concurremment l'étude micropaléontologique et l'étude archéologique et d'essayer par ce moyen d'en dresser la carte de répartition.

Un autre essai, qui n'a encore jamais été tenté, consisterait à identifier les silex de tous les niveaux d'un site ou d'un groupe de sites donnés. D'une telle expérience on pourrait peut-être tirer des éclaircissements intéressants sur les habitudes des tribus paléolithiques, leurs rapports, leurs contacts, leurs sphères d'influence et, lorsqu'il s'agit de stades de civilisation assez rapprochés, l'évolution de ces rapports d'un niveau stratigraphique à un autre. Les résultats justifieraient-ils une telle étude minutieuse et longue ? Seule l'expérience peut le dire. En tous cas, positive ou négative, elle vaut d'être tentée [2].

A. Laming

1. A. Bigot, « Notes de géologie normande », XLIII, « Origine des silex des stations préhistoriques de Soumont (La Brèche au Diable) et d'Olendon (Calvados) », *Bull. de la Soc. Linnéenne de Normandie*, 9e série, tome VI, 1949-1950, pp. 62-62.

2. Il serait intéressant de proposer ce sujet d'étude (Diplôme ou thèse de Doctorat) à quelque jeune chercheur qui devrait travailler en rapport étroit à la fois avec le laboratoire de Micropaléontologie et avec un laboratoire de préhistoire. Voir appendice p. 332.

CHAPITRE XIII

RECONSTITUTION DES TECHNIQUES

La Poterie.

La céramique, outre l'étude typologique traditionnelle, fait de plus en plus fréquemment l'objet d'un rapport technologique dans les compte-rendus de fouilles et les publications archéologiques. Le principe de ce genre de travail est loin d'être nouveau, et certaines des techniques employées étaient déjà décrites par Brongniart dans son traité de 1844 auquel il faut toujours se référer. Pourtant au cours de ces dernières années les méthodes de travail et surtout d'interprétation des résultats se sont beaucoup perfectionnées.

Ces progrès sont réalisés grâce à l'utilisation des techniques de sciences voisines, et grâce à la collaboration entre archéologues, ethnographes et céramistes, qui ont sur le sujet des angles de vue, des champs d'observation et des techniques d'étude très différents et souvent complémentaires. Le chemin parcouru est sensible, un courant d'intérêt réciproque s'est établi et il peut être utile de rechercher quelles perspectives s'offrent et quel appoint l'étude technologique des poteries peut apporter à l'archéologie.

L'examen macroscopique.

Il n'est peut-être pas inutile de souligner tout d'abord que, lorsqu'on veut analyser les caractéristiques techniques d'une poterie, les observations faites seulement à l'œil nu ne permettent qu'une description très imprécise avec de nombreuses chances d'erreurs, et que l'interprétation des détails observés exige pour offrir quelque sécurité une connaissance de la technique céramique que le fouilleur le plus consciencieux et le plus averti n'a pas forcément à sa disposition. Pour permettre de mieux mesurer la marge d'imprécision et d'erreurs que risque d'entraîner un examen

superficiel on prendra deux exemples parmi les plus typiques, celui des définitions de finesse de pâte et celui des appréciations de température de cuisson.

Les pâtes de poterie, décrites d'après un examen à l'œil nu, sont le plus souvent rangées en fines et grossières. Il est évident que ces termes ne donnent qu'une idée vague de l'aspect réel de la pâte, et à plus forte raison de la nature de l'argile qui la compose. Ils ne traduisent, en effet, que la présence ou l'absence de particules de fort calibre, celles que distingue l'œil ou dont le doigt sent la rugosité. Aucune distinction n'intervient entre le limon sableux et l'argile très fine où sont noyés des grains de sable, pas plus qu'entre une argile vraiment fine et une autre, maigre mais à éléments régulièrement au dessous du minimum de vision distincte à l'œil nu. Ces pâtes appartiennent pourtant à des types très distincts, et donnent à travail égal des résultats sensiblement différents.

Au delà de la simple qualification l'examen macroscopique donne aussi lieu, très souvent, à une interprétation faisant intervenir une action humaine dans la préparation de la pâte. Si l'on a une argile homogène et fine on se hâte de la supposer nettoyée, ou même lavée [1]. Si par contre la cassure offre un aspect inégal, sableux, deux explications sont possibles et données suivant l'idée générale que l'on se fait de la population considérée : on dit qu'il s'agit d'une argile grossière, utilisée brut sans aménagement, ou d'une pâte volontairement additionnée d'un élément non plastique, le dégraissant [2].

Qu'il s'agisse d'une intervention humaine dans un sens ou dans l'autre, on ne saurait en juger sur le seul aspect macroscopique de la poterie, car la nature apporte d'elle-même des possibilités infinies de variation dans la grosseur des éléments aussi bien que dans la composition chimique.

Quant à l'interprétation de ce classement en termes de degré technique (la finesse croissante étant en général considérée comme une marque de progrès), il faut également s'en défier. Car si le nettoyage ou le dégraissage sont des signes d'un certain raffinement technique, ces opérations ne sont pas les seules auxquelles le potier peut être conduit par la connaissance de son argile et des conditions d'une bonne cuisson. Les potières Conibo de l'Ucayali (Haute Amazone) quand elles vont chercher l'argile au bord du fleuve reconnaissent celle qui fera les petits bols aux parois fines et celles qui convient mieux aux marmites et pots de cuisine, tout comme les extracteurs de terre de chez nous font autour du puits

1. Le procédé du lavage, ou lévigation, élimine les gros éléments par densité en mettant les éléments fins en suspension dans l'eau.

2. Une argile très fine est difficilement utilisable en poterie, surtout par une technique relativement primitive. D'une part elle est souvent trop plastique, et manque de tenue au modelage, d'autre part elle est trop serrée pour que l'eau puisse s'évaporer complètement au séchage, ce qui provoque des éclatements à la cuisson. Le dégraissant, dont la nature peut être très variée, brise cette structure et établit dans la pâte des voies de sortie pour l'eau d'évaporation.

des tas différents suivant les couches qu'ils atteignent, tas que le potier utilisera tour à tour à la fabrication de ses divers produits. Parfois, et c'est une forme de dégraissage indécelable pour l'archéologue à défaut d'information directe, le potier mélange deux argiles dont les qualités s'équilibrent et se complètent. Parfois encore c'est momentanément qu'il modifie sa pâte avec un dégraissant organique, cendres finement pulvérisées, ou jus végetal, dont toutes traces seront détruites si la cuisson est suffisante.

Enfin certaines contraintes peuvent créer du désordre dans de telles classifications : les récipients de grandes dimensions exigent des parois épaisses. Cette épaisseur accroît le danger de séchage incomplet et d'éclatement à la cuisson, mais on peut le combattre en « ouvrant » l'argile par l'introduction de sable, inutile peut-être avec la même pâte pour des poteries de plus faibles dimensions, à parois plus minces. Résultat paradoxal : la pâte la plus élaborée, qui a subi la préparation la plus complexe, est celle qui en fin de compte présente l'aspect le plus grossier.

Au moins aussi imprudentes sont les appréciations à vue de la température à laquelle une poterie a été cuite. Les critères généralement employés sont la dureté, mesurée au son ou au couteau de poche, et la couleur.

La dureté peut certes donner quelque indication. Le cas le plus net — peut fréquent il est vrai en archéologie européenne — est celui des poteries dont la grande dureté est due à une vitrification au moins partielle opérée dans l'argile. Ce sont des grès ou porcelaines, qui exigent une température de cuisson élevée. Un phénomène voisin peut se rencontrer parfois, accidentellement, parmi les déchets d'un atelier, résultat d'une cuisson trop poussée. Dans le New Forest, par exemple, un site de l'époque romaine a fourni tout un lot de poteries du type grès, dure et sonore. Est-ce à dire pourtant qu'à cette date les potiers de la région étaient parvenus à cuire non loin de 1250° C., température que réclame habituellement la cuisson du grès ? Probablement pas, et sans doute la composition chimique de l'argile a-t-elle joué dans ce cas un rôle déterminant [1].

Plus généralement on peut considérer que la nature de l'argile influe presque autant sur la dureté que le degré de cuisson. Il faudrait évidemment distinguer la résistance à la cassure (qui est beaucoup fonction de l'homogénéité de la pâte) de la dureté telle qu'elle se manifeste aux essais de rayure. Celle-ci est aussi influencée, mais d'une manière un peu différente, par la finesse de l'argile, qui augmente la cohésion des particules entre elles, et par le pétrissage plus ou moins poussé qu'elle a subi. L'une et l'autre, et aussi la sonorité de la poterie, sont enfin liées très étroitement à la proportion de silice contenue dans la pâte.

1. Le fait que beaucoup de ces poteries soient déformées semble indiquer l'emploi d'une argile offrant une faible marge de sécurité entre le début de vitrification (température à laquelle les éléments de l'argile commencent à se combiner et à se souder entre eux) et le point de fusion (température à laquelle l'achèvement de ce phénomène provoque un ramollissement de la pâte). C'est le propre des argiles fusibles à assez basse température, par exemple celles qui contiennent une forte proportion de chaux.

Pour ce qui est de la couleur, il est fréquent de voir formuler une appréciation du degré de cuisson selon la teinte plus ou moins rouge ou noire de la pâte. Jugement réellement trop simpliste, malgré la toute petite base de vérité sur laquelle il s'appuie. Car s'il est vrai qu'on ne rencontre guère de pâtes noires dans les poteries les plus cuites, il est non moins vrai qu'une teinte brique peut être réalisée à partir de 500° à peine, tandis que des travaux récents sur un type de poterie noire d'Amérique Centrale ont établi qu'elle a été cuite aux environs de 950°.

Il se trouve en effet que la même température prolongée deux fois plus longtemps donne sur une même argile des résultats très différents, que deux argiles cuites dans les mêmes conditions peuvent n'offrir aucune ressemblance, et qu'un foyer étouffé agit tout autrement qu'un feu bien aéré. Si l'on fait jouer ces quatre éléments selon toutes les combinaisons possibles on se trouve en présence d'une belle gamme de couleurs, mais sans clef simple et infaillible pour l'interpréter.

Enfin les classifications de tessons en poterie rouge, brune, fumigée dans la masse ou en surface, font parfois sourire le familier des collections d'ethnographie africaine, qui connaît plus d'un pot dont les morceaux pourraient être répartis dans toutes ces catégories et d'autres encore.

Sans entrer plus avant dans cette question il faut pourtant signaler l'emploi peut-être trop facile des termes de cuisson oxydante ou réductrice. A. O. Shepard signale [1] les erreurs qui peuvent en résulter et insiste sur le fait que la céramique primitive dite cuite en réduction est en général seulement insuffisamment oxydée, ce qui ne veut pas forcément dire non plus cuite à basse température. La présence de matière organique dans l'argile, un enfumage opéré après la cuisson, peuvent, suivant la texture plus ou moins serrée de la pâte, contribuer à donner à la cassure une couleur gris-noir sans qu'aucune réduction ait réellement eu lieu. Si par contre il y a eu oxydation ou réduction, la proportion de fer contenue dans l'argile peut faire varier considérablement la teinte finalement obtenue, toutes conditions étant égales par ailleurs, tandis que la chaux est bien connue des céramistes pour sa capacité d'atténuer la couleur rouge d'une argile ferrugineuse.

Peut-être commence-t-on à mieux mesurer la distance qui sépare ce genre de descriptions à l'œil nu de la réalité technologique. Il reste à savoir si l'on peut espérer s'en approcher davantage par une étude de laboratoire.

Travaux de laboratoire.

Techniquement une poterie est le résultat d'une série d'opérations appliquées à une pâte plastique : modelage de la forme désirée, traitement (plus ou moins complexe) de la surface, cuisson enfin, qui développe sa

1. *Plumbate*, Carnegie Inst. Washington, Publ. 573, 1948, p. 97.

dureté aux dépens de ses propriétés plastiques, la rendant propre à l'usage. Si à l'intérieur des catégories générales ainsi délimitées (pâte, façonnage, surface, cuisson) l'étude de laboratoire permet de définir des degrés de plus en plus précis, on peut espérer y découvrir des critères de description utilisables, à la fois significatifs et sûrs.

Bien des principes de classement peuvent être appliqués aux pâtes de poterie, on l'a vu plus haut au sujet des définitions de finesse. Si l'on s'en tient au problème technique, quatre types peuvent être proposés, selon qu'on a une argile employée sans préparation, nettoyée, dégraissée, ou une pâte artificiellement préparée. Sans revenir en détails sur cette question déjà abordée, notons seulement qu'entre les deux premiers types il semble impossible d'espérer un critère de différenciation, surtout en ce qui concerne le nettoyage à la main, qui débarrasse seulement l'argile de ses grosses impuretés. Tout au plus, si le calibre de certains grains s'oppose à l'hypothèse d'un traitement par suspension dans l'eau, pourra-t-on affirmer que l'argile, même fine par ailleurs, n'a pas été lavée. Même indécision pour les cas de mélanges d'argiles. Par contre on obtient souvent un bon degré de certitude pour le dégraissage, en particulier toutes les fois que se révèle dans la pâte un élément qui ne saurait s'y trouver à l'état naturel, traces ou restes siliceux de végétaux, fragments de tessons ou de silex broyés. De même pourra-t-on reconnaître le caractère artificiel d'une pâte qui ne pourrait, telle qu'elle se présente, avoir été modelée sans l'aide d'un agglutinant. C'est le cas par exemple pour les pâtes très siliceuses des faïences égyptiennes.

Ceci établi reste la question de l'origine des matériaux, plastiques ou non. Toutes les fois qu'elle est possible, la comparaison avec les argiles et sables de la région d'où viennent les poteries doit être faite ; elle peut être riche d'enseignement, car ces matières ne sont pas de celles qu'on transporte brut sur de très longues distances. Il y a donc des chances de préciser par ce moyen si les poteries ont été ou non fabriquées dans la région. Il faut pourtant tenir compte de causes d'erreurs importantes : les formations géologiques identiques qui offrent en différents lieux des matériaux exactement semblables, la diversité de nature des argiles d'un même puits, suivant la couche utilisée, et le transport de sédiments par les cours d'eau sur des distances parfois considérables. Tout celà peut dérouter considérablement les tentatives d'identification.

Par ailleurs, indépendamment de leur description proprement dite, par des détails dont l'intérêt peut ne pas apparaître à première vue, l'étude des pâtes se révèle essentielle pour la compréhension des traitements divers subis par la poterie et des transformations qui les ont accompagnés. Les propriétés physiques (finesse des particules de la masse argileuse, homogénéité de la pâte, texture plus ou moins serrée) sont des facteurs importants pour l'étude des surfaces (une argile fine et grasse simplement lissée peut faire figure d'engobe), des problèmes de modelage, et aussi des phénomènes plus complexes de la cuisson. S'il est à peine besoin de dire que la connaissance de la nature chimique aide à la compréhension

de la cuisson, il est moins apparent mais tout aussi vrai qu'elle est indispensable pour résoudre les problèmes de certains états de surface. C'est probablement plus dans cette voie que dans celle des identifications d'origine, toujours un peu hasardeuses, que réside la justification des analyses quantitatives et de la publication de leurs résultats.

Les problèmes du façonnage de la poterie peuvent être éclairés par l'étude microscopique [1] de cassures orientées dans des directions déterminées. Les questions à résoudre sont ici relativement limitées, soit que le degré technique général du tesson limite le choix des possibilités, soit que l'examen à l'œil nu renseigne déjà suffisamment. C'est le cas pour les poteries entières ou les tessons assez volumineux, dont on peut dire à première vue s'ils ont été formés à la main ou sur un tour. Encore faut-il se méfier de l'existence de poteries moulées, qui peuvent se confondre avec les unes ou les autres ; tenir compte aussi des polissages ou engobages qui masquent les stries de surface, de l'érosion superficielle qui a pu emporter la couche-témoin, enfin du fait que le lissage à la main laisse toujours des traces parallèles sur l'argile, que le pot soit mu par un tour ou que la potière se déplace elle-même autour de lui. Dans ces cas douteux, les cassures peuvent souvent apporter une réponse parce qu'à l'intérieur des parois l'argile humide s'est d'elle-même organisée selon des directions décelables, sous l'action des mains qui l'ont façonnée.

Réponse plus ou moins rigoureuse d'ailleurs, certains types de façonnage étant plus facilement discernables que d'autres. La distinction est en général possible entre tournage et moulage d'une part, tournage et modelage à la main d'autre part. Cette dernière technique se prêtant à une variété presque infinie de méthodes, il semble difficile de pousser très loin la précision, tout au moins peut-on dire si l'étirement de la pâte s'est fait selon une direction horizontale (colombins) ou verticale.

Les conditions d'observation varient également suivant la qualité de la pâte. Elles sont idéales quand une argile plutôt fine contient un dégraissant d'assez gros calibre, dont les grains ont une forme allongée. On ne peut guère alors éviter de remarquer le sens dans lequel ils ont été orientés par l'étirement. C'est ainsi qu'on peut, à l'œil nu, voir les fragments charbonneux des jarres égyptiennes prédynastiques dessiner la direction horizontale des colombins. Cela n'est évidemment pas toujours le cas, et si la pâte est très fine et homogène il est plus difficile de se prononcer. C'est alors qu'on peut recourir à l'étude de lames minces en fort grossissement.

A la méthode générale de façonnage s'ajoutent divers détails qu'il peut être intéressant de remarquer. L'essentiel est relatif à la pose des pièces annexes. Comme le montrent les travaux de M. A. Digby pour l'Amérique

1. Ou mieux à la loupe binoculaire. Un grossissement de l'ordre de 15 à 20 diamètres est suffisant dans la moyenne des cas, et l'on y gagne la vue en relief, donc une meilleure observation des cassures naturelles. C'est seulement pour l'étude de certains détails que l'on aura recours aux forts grossissements.

ancienne [1], l'étude de ces détails peut avoir un intérêt historique considérable. Il est probable qu'il y aurait beaucoup à en tirer également en archéologie de l'ancien monde.

Les nombreuses méthodes employées pour le traitement des surfaces peuvent être ramenées à deux types : travail mécanique de la surface de l'argile (pour la rendre plus rugueuse ou plus lisse) et application d'un enduit. Déjà pour la distinction entre ces deux genres d'opérations il est souvent fait appel à l'étude de laboratoire, pour savoir si une engobe recouvre ou non la pâte. Ce trait technique est, en effet, considéré comme pouvant avoir une signification culturelle, c'est un fait commode parce qu'il semble à la fois bien défini et suffisamment dégagé des contraintes techniques, mais l'expérience prouve que l'œil ne peut toujours le distinguer avec certitude. Sir J. Myres a signalé depuis longtemps déjà à l'attention des archéologues de nombreux procédés qui peuvent produire un effet très voisin de l'engobe véritable [2]. Les examens les plus soigneux tendent à modérer les affirmations portées à première vue plutôt qu'à les préciser : à la suite d'expériences sur des échantillons préparés par elle-même selon différentes techniques de polissage ou d'engobage, A. O. Shepard juge impossible de distinguer avec certitude, même par l'examen en fort grossissement et lumière réfléchie, un lissage d'une engobe mince si celle-ci a été préparée avec la même argile que la pâte. Si par contre, il y a différence de coloration, on peut arriver par l'examen de coupes et éventuellement l'analyse à la certitude qu'une couche distincte a été appliquée sur la pâte, ou qu'un effet semblable a été produit par un autre procédé (enfumage, imprégnation de matière organique qui se carbonise sur la poterie chaude, brève période de changement dans les conditions d'aération du foyer).

Différents types de traitement mécanique peuvent aussi être distingués, en fonction des observations sur la nature physique de l'argile. Une pâte même à cassure inégale, avec de gros éléments quartzeux, mais dont l'argile est grasse, peut donner par simple lissage une surface remarquablement unie, que ne pourra atteindre une pâte plus maigre, même à la suite d'un polissage plus soigné. De même pourra-t-on essayer par l'observation microscopique de préciser les modes de décoration en creux ou en relief. Peu de choses ont été faites dans ce sens, mais il est possible qu'une distinction des lignes gravées, imprimées, repoussées se révèle un jour riche d'enseignements.

Quand la surface de l'argile a été recouverte d'un enduit, il est à peine besoin de dire que la nature et la composition de celui-ci sont intéressantes à connaître. Une série d'observations, d'analyses et d'essais de cuisson peut non seulement indiquer l'état présent et la composition chi-

1. L'examen aux rayons X permet de déceler le mode de fixation des goulots et des anses. A. Digby, « Radiographic Examinations of Peruvian Techniques », *Actes du XXVIIIe Congrès des Américanistes*, Paris, 1947, pp. 605-608.

2. *Man*, 1901, pp. 98-99.

mique de l'enduit mais, ce qui est plus intéressant encore, permettre de supposer à partir de quels produits et sous quelle forme il a été préparé et appliqué. Ces hypothèses peuvent être vérifiés par des expériences, comme celles de E. R. Caley [1] qui a cherché, ayant analysé des glaçures d'époque romaine, à les reproduire à partir de corps connus à l'époque, mêlés dans des proportions simples. Ses résultats sont pleinement satisfaisants, et il est réconfortant de pouvoir se représenter un potier du IIe siècle mélangeant 20 parts de litharge, 10 parts de sable (contenant à l'état d'impuretés un peu de fer, de calcium et de sodium) et une part d'oxyde de cuivre noir, plutôt que 64,4 % de plomb, 29,7 % de silice, 0,8 % de fer...

On ne saurait séparer l'étude des états de surface, surtout lorsqu'il s'agit d'enduit vitrifié, des questions de cuisson qui y sont étroitement liées sous leurs deux aspects : déroulement de la cuisson et température atteinte. On a déjà abordé cette question et remarqué que, si l'étude de laboratoire peut apporter des éléments utiles, il faut tenir compte de plusieurs causes d'erreurs. On peut dire que c'est, de tout l'ensemble de ces études, la partie dans laquelle il y a encore le plus à faire pour préciser tant les techniques que les méthodes d'interprétation. Cela ne peut se faire, comme en témoignent quelques études partielles du plus haut intérêt, que par des observations appuyées sur la connaissance des argiles, des phénomènes de combustion (température, nature du combustible, conditions réalisables par des groupes techniquement mal outillés), et des combinaisons diverses qui s'opèrent aux différentes températures dans et entre les corps en présence.

Dans l'état actuel des recherches, on peut déterminer dans certaines limites la température maximum atteinte par la cuisson. Plus exactement on peut établir si elle a ou non atteint un certain nombre de seuils critiques où s'opèrent dans la pâte des transformations décelables, d'ordre volumétrique ou minéralogique. C'est seulement si l'on dispose d'un échantillon de l'argile crue (ce qui peut se produire dans le cas de découverte d'un atelier, ou si l'on a pu reconnaître l'origine de l'argile employée), que l'on peut arriver à un degré de précision plus grand, et même éventuellement apprécier la durée probable de cuisson. Mais, sauf pour résoudre un problème particulier, de glaçure par exemple, la température à 100° C. près permet de se faire une bonne idée du mode de cuisson, c'est-à-dire du côté humain de la question. Car il ne faut pas oublier que, même dans un four bien mené, entre les parties les plus proches et les plus éloignées du foyer, des différences au moins aussi grandes sont couramment observées — sans parler même de la cuisson sans four, qui est à la merci d'un coup de vent ou d'un moment d'inattention d'une potière trop lente à ajouter du combustible. Faits à garder en mémoire quand, à partir de matériaux scientifiquement établis, on veut passer à l'interprétation en termes historiques ou simplement à la classification des tessons.

1. *Am. Journal of Arch.*, 1947, pp. 389-393.

Problèmes d'identification

Il faut enfin arriver à la question la plus posée peut-être à propos de l'étude technologique des poteries ; permet-elle d'identifier, c'est-à-dire de dater et localiser en rattachant à des types connus ? Il faudrait presque dire : bien au contraire. En tout cas, sans aucun doute possible, non. L'étude de laboratoire, la dissection du tesson en ses différentes caractéristiques strictement techniques, ne saurait remplacer le coup d'œil du typologiste. Il ne viendrait à l'idée de personne qu'un couteau puisse être identifié par l'analyse d'un morceau de sa lame et d'un fragment du bois dans lequel on lui a taillé un manche, la céramique n'est guère plus favorisée sous ce rapport.

Pour ce qui est de la poterie primitive, on peut reprendre en le généralisant ce qui a été dit de l'origine des argiles. Très près de la définition la plus générale du fait, expression matérielle la plus simple possible de la tendance, elle est liée à des contraintes techniques impératives, à la fois variables en un même lieu et identiques au cours des âges et de par le monde.

Quand on arrive à une époque de plus grande maîtrise de la matière, les conditions sont un peu meilleures, grâce à la variété plus grande des procédés, qui multiplie les traits d'identification utilisables. Mais il se trouve que, tandis que se perfectionne une production supérieure, survit longtemps une fabrication domestique ou en tout cas locale, humble façonnage par les femmes de leurs récipients de cuisine. Ce type de travail peut traverser des siècles, aux mêmes lieux, sans changer d'un trait, puisque l'autre production, qui répond aux besoins de qualité supérieure, absorbe du même coup toute impulsion au progrès. C'est ainsi qu'on peut voir aujourd'hui encore, dans tout le Nord de l'Afrique, voisiner deux techniques distinctes, travail masculin et féminin, sans connexion, sans apport du plus évolué au plus rustique qui n'a guère changé depuis les temps néolithiques. On reviendra sur l'aspect humain d'un tel fait, son inconvénient classificatoire n'a pas besoin d'être souligné.

A cela s'ajoute la marge, parfois très grande, des initiatives humaines, individuelles, originales et imprévisibles, qui obligent à n'appuyer jamais d'affirmations trop nettes sur un détail isolé, fût-il entouré de toutes les garanties d'observation scientifique souhaitables. Seule la conjonction d'un faisceau d'éléments peut permettre, parfois, l'identification. Qu'on en juge par ce détail, rapporté par A. Van Gennep dans ses *Notes d'Ethnographie Algérienne* : « Lorsque je fis remarquer à la potière que sa couche d'engobe était très mince, elle me montra que sa provision de terre blanche allait s'épuiser. [1] »

1. *Revue d'Ethnographie et de Sociologie*, t. II, 1911, p. 306.

Voilà pour l'état actuel des recherches. On peut supposer qu'un jour, peut-être, assez de données auront été observées et publiées, bien réparties dans le temps et dans l'espace, pour que ces conclusions trop prudentes soient reléguées dans un lointain passé, et qu'un tesson ne puisse plus rien cacher de ses origines à des méthodes vraiment scientifiques. Dans ce cas, il faut se résigner à n'être encore qu'à la phase d'élaboration, pendant laquelle il convient de réunir le plus possible de ces matériaux de base, sans autre espoir présent que de tirer de chaque étude une connaissance plus intime de quelques hommes et femmes, de quelques-uns des problèmes auxquels ils se sont heurtés et de la façon dont ils ont sû les résoudre. Conclusion peut-être modeste, mais en tout cas assez attachante pour justifier l'effort qui y conduit.

C'est sur ce terrain, en effet, que mènent les résultats les plus positifs de ces études. On peut y voir deux étapes, ce que l'objet dit de lui-même (critique technologique), et ce qu'il laisse connaître de son contexte technique et humain.

Un objet de fouille n'est un témoin historiquement utilisable qu'après avoir été soumis à une étude critique, qui prend toute sa valeur lorsqu'elle est poussée aussi loin que possible. C'est dire que la compréhension technologique de l'objet en est un aspect essentiel, peut-être l'élément de base puisqu'on ne saurait séparer la fonction ni le style de leur support, la matière à travers laquelle ils s'expriment. Le rôle de l'étude de laboratoire est d'abord d'assurer une plus grande rigueur aux observations, et de les rendre plus comparables entre elles par l'emploi d'un vocabulaire de description relativement homogène, au moins dans la mesure où il est emprunté à des sciences déjà élaborées [1]. Il est aussi de multiplier les éléments d'étude, donc les critères de différenciation et de comparaison. Plus encore cette étude permet de comprendre certains processus techniques par la distinction de ce qui, dans leur déroulement, était impliqué par la nature même de la matière première, et de ce qui n'a pu être que le résultat d'une intervention humaine concertée. Comme exemple on peut se référer aux nombreuses explications données successivement de la fabrication de la céramique grecque classique noire à figures rouges. Il semble bien que la réalité soit plus simple qu'on ne l'a cru en général, à cause de deux ou trois réactions normales, inévitables ou en tout cas réalisables dans des conditions techniques simples.

L'objet soumis à cette critique peut alors prendre toute sa valeur quand il est replacé dans son cadre historique. Les détails analysés éclairent le complexe technique du groupe humain qu'ils représentent, en se projetant

1. Cette question du vocabulaire de description est loin d'être résolue ; on s'y heurte dès qu'on pénètre dans la littérature archéologique et ethnologique, parce que ces sciences se sont contentées longtemps d'une terminologie d'amateurs. Des travaux sont en cours, qui s'ils s'appuient sur une base scientifique et technique suffisante devraient pouvoir rencontrer l'adhésion du plus grand nombre et permettre ainsi d'arriver à une plus grande clarté.

dans ses divers domaines : connaissances mécaniques avec le tour de potier, les appareils à laver et pétrir l'argile, maîtrise plus ou moins avancée des « arts du feu », possessions d'éléments de chimie conduisant à un choix judicieux ou à l'aménagement des matières premières disponibles dans un milieu géographique donné.

Notre connaissance du niveau culturel général s'enrichit également, par le repérage des périodes favorables au progrès, des secteurs plus ou moins actifs, du degré de relation ou d'imperméabilité entre eux. Certains points d'histoire technique, curieux au premier abord, prennent vie tout à coup, comme la stagnation, pendant des siècles, d'un embryon de céramique à glaçure dans l'Egypte ancienne, alors que les glaçures sur pierre et les perles de verre réalisent des progrès constants, et que la poterie suit de son côté une marche totalement indépendante.

Enfin un exemple déjà cité donnera une idée des réalités d'ordre sociologique dans lesquelles on pénètre parfois ; il s'agit de la survivance côte à côte de deux techniques de niveaux différents. Diversité médiocre et progrès lents sont signes d'un état sans différenciation de métiers spécialisés, tandis que la dualité de technique aux mêmes époques peut indiquer un début de spécialisation qui n'a pas encore détruit l'économie domestique pour les besoins les plus courants, et correspond probablement, si l'on en juge par les cas actuels et l'absence totale de pénétration de l'une à l'autre, à une division sexuelle des activités. Elle peut indiquer aussi la présence d'artisans étrangers, ou des relations commerciales actives dans les zones d'influence d'un centre civilisateur. On pourrait allonger cette liste, mais il ne s'agit que de quelques exemples, parmi les plus apparents, de l'utilisation que l'on peut faire des données du laboratoire pour passer du plan de la description des objets à celui de leur compréhension.

Ce que l'étude scientifique des poteries de fouilles peut apporter à l'archéologie, à part quelques éléments complémentaires d'identification à manier avec modestie et prudence, c'est donc surtout un moyen d'approche nouveau vers une connaissance plus humaine des périodes anciennes, une intimité plus grande avec quelques-uns des linéaments que les hommes ont suivis dans l'évolution de leurs cultures. [1]

H. Balfet

Attachée au Centre National de la Recherche Scientifique, Musée de l'Homme, Paris.

Musée Hisrotique Lorrain, Nancy.

1. Voir appendice p. 333-334.

CHAPITRE XIV

RECONSTITUTION DES TECHNIQUES

Le Métal

Archéologie et recherches métallurgiques

Il existe un très grand nombre de travaux consacrés à l'étude de la métallurgie ancienne qui sont l'œuvre aussi bien de métallurgistes que d'archéologues. La plupart de ces travaux concernent l'archéologie classique, égyptienne ou orientale, ou encore la protohistoire. Les études qui se rapportent plus spécialement à la préhistoire occidentale, sont en général fragmentaires et mal connues des chercheurs qui les utilisent rarement. En France en particulier, les préhistoriens actuels semblent peu attirés par l'étude des métaux anciens, bien qu'au siècle dernier des savants comme Berthelot aient été parmi les premiers à démontrer l'intérêt de l'étude des techniques anciennes.

Actuellement, c'est surtout à l'étranger que se poursuit l'étude des techniques anciennes et en particulier des techniques métallurgiques. Ces recherches elles-mêmes se font dans le cadre général de l'histoire des sciences plutôt que dans celui de l'archéologie préhistorique.

Au moment où la préhistoire semble s'orienter vers des voies nouvelles, où elle paraît décidée à profiter de tous les moyens de recherche mis à sa disposition par les techniques actuelles, il semble nécessaire de souligner l'intérêt des recherches métallurgiques et d'en indiquer les méthodes. Ceci autant pour élargir le champ d'investigation des archéologues, que pour attirer à la préhistoire, utilisant la collaboration d'un grand nombre d'amateurs, celle des métallurgistes qui trouveront dans les études archéologiques matière à de passionnantes recherches.

L'apparition des métaux au cours des civilisations préhistoriques marque le début d'une période nouvelle de l'histoire de l'humanité. Et il ne s'agit pas là seulement de chronologie ou de classifications nouvelles : cette innovation correspond à un phénomène capital, l'apparition de techniques de transformation et de fabrication, avec toutes les notions que cela impli-

que : atelier, spécialistes, commerce, monopole... Avant les métaux, les principales techniques connues étaient la poterie et la préparation des textiles, ainsi que la taille de la pierre ; entre l'opération qui consiste à durcir au feu un vase de terre, et celle qui permet de réaliser une hache de bronze en partant de minerais, il y a un pas immense. Au cours des siècles durant lesquels l'usage des métaux s'est sans cesse développé, la poterie, le textile, la vannerie n'ont subi aucune transformation importante, et c'est le progrès réalisé en métallurgie qui a bien souvent déterminé l'évolution d'autres techniques, des arts ou même de l'histoire.

C'est dire tout l'intérêt que présente la métallurgie ancienne, qui permet de situer avec un maximum d'exactitude et d'objectivité les étapes de l'évolution des civilisations.

L'expérience a maintes fois démontré qu'il était décevant de prétendre établir des classifications, ou de rechercher des origines et des influences en se basant uniquement sur la morphologie et sur l'évolution de décors ; non que ces méthodes soient sans valeur, mais le problème vu uniquement de cette façon est beaucoup trop complexe en raison du très grand nombre de facteurs qui entrent en ligne de compte, qui se croisent, se chevauchent ou interfèrent. Inversement, il serait également vain de baser une étude uniquement sur le résultat d'analyses, aussi nombreuses et poussées soient-elles.

Malheureusement il existe souvent un abîme entre les archéologues et les techniciens qui ont souvent les mêmes défauts (à cause d'une commune passion) et on a vu des théories aussi audacieuses que grisantes pour leurs auteurs basées sur des similitudes de formes et sur *une* analyse. Pour éviter de semblables erreurs, il importe que les archéologues connaissent la valeur des méthodes scientifiques utilisées et leurs limites d'utilisation, de même que les métallurgistes doivent connaître les méthodes de la recherche historique.

Actuellement, le rapprochement entre les résultats tirés de la morphologie et de la stratigraphie, et ceux fournis par de multiples analyses est loin d'avoir donné des résultats vraiment utilisables. Il y a à cela une excellente raison, c'est que le produit de fouilles bien faites a rarement été étudié, alors que des analyses multiples étaient faites sur quelques pièces dont l'origine était souvent douteuse ; c'est aussi parce que des analyses longues et minutieuses ont été entreprises pour rechercher des caractéristiques ne pouvant pas présenter beaucoup d'intérêt.

Pour que les archéologues puissent tirer quelques résultats utilisables des travaux des métallurgistes, on vient de le voir, il faut que les travaux des deux groupes de chercheurs soient intimement liés, et c'est le résultat de cette intime collaboration qui fournira des résultats positifs. Laissés à leur propre initiative, les uns et les autres ne connaissent ni les mêmes limites d'un problème qui doit être commun, ni les mêmes moyens de le résoudre ; leur tendance sera de s'écarter et de perdre ainsi de vue l'objet précis qui doit les rapprocher. Dans un tel divorce, l'archéologue perd plus que le mé-

tallurgiste ; c'est ainsi qu'il existe de très remarquables histoires des métaux faites sans le concours d'archéologues, alors que les tentatives d'histoire des premiers temps de l'humanité ne sont guère que des balbutiements. Ou bien l'archéologue utilisant les recherches techniques entreprises sur un lot d'objets provenant d'une station bien connue et bien délimitée et celles relatives à des séries d'objets d'Egypte ou de Mésopotamie sera tenté de tirer des conclusions prématurées. Dans ce cas, la victime est l'archéologue qui s'aventure au milieu des cascades et des pyramides d'hypothèses, pendant que le métallurgiste demeure impassible avec le résultat de ses analyses, même s'il est stérile.

Méthodes d'étude

S'il est facile de montrer l'intérêt général des recherches métallurgiques en matière de préhistoire, il est plus délicat d'essayer de définir une méthode Cela peut même paraître prétentieux, mais on peut essayer d'étabiir les bases d'une méthode simple, de montrer les procédés qui peuvent être utilisés pratiquement ainsi que ce qu'il est possible de leur demander. C'est seulement quand les résultats des recherches auront été assez nombreux qu'il sera possible de tirer quelques conclusions vraiment intéressantes.

On me pardonnera de prendre en exemple des travaux personnels. Des analyses métallographiques nombreuses doublées d'analyses chimiques, de radiographies, d'essais mécaniques m'ont permis de reconstituer les techniques de fabrication des épées damassées du ve au IXe siècle. Des marques de fabrique ont été identifiées, des procédés particuliers ont montré l'existence d'ateliers différents. La notion de centre de fabrication a pu être établie, ainsi que celle de commerce, de monopole, etc. Mais c'est seulement quand un beaucoup plus grand nombre d'épées auront pu être examinées qu'il sera possibles de tirer toutes les conclusions vraiment intéressantes : lieux de fabrication, importance d'un commerce, origine d'une technique et causes de sa disparition, parentés avec des techniques voisines, plus anciennes ou plus récentes. Un tel travail ne pourra être entrepris que dans un certain nombre d'années, et après des recherches systématiques.

Lorsqu'un archéologue se trouve en face d'une série d'objets métalliques provenant aussi bien d'une fouille récente que d'une collection de musée, il doit se poser un certain nombre de questions que l'on peut ainsi classer :

Questions simples :

1° Reconnaître, identifier (éliminer les faux) ;

2° Classer, dater ;

Questions complexes :

3° Influences, progression, régression, parentés ;

4° Cheminement, commerce ;

5° Civilisation ;

6° Conclure ;

7° Conserver, présenter.

Dans chacune de ces opérations, l'étude métallographique peut avoir son importance, et c'est pour répondre à ces questions d'une façon plus complète, que l'archéologue fera appel au métallurgiste.

Il est, en effet, exceptionnel que l'archéologue soit en même temps métallurgiste, mais il faut que l'archéologue polyvalent puisse poser au métallurgiste les questions auxquelles il aura à répondre.

Ces réponses seront ensuite classées et comparées aux autres réponses et aux autres renseignements fournis par tous les spécialistes qui collaborent à la recherche archéologique.

Les métallurgistes disposent actuellement d'un très grand nombre de moyens d'observation ou d'analyse qui correspondent à toutes les propriétés physiques ou chimiques d'un métal. Ces moyens permettent aussi de déterminer comment le métal a été obtenu, à partir de quel minerai et quels traitements il a subi. Ces méthodes d'examen sont parfois si complexes qu'elles ne peuvent être pratiquées que par un petit nombre de spécialistes disposant du matériel nécessaire.

Beaucoup d'entre elles n'ont jamais été utilisées en recherche archéologique et pourraient cependant donner d'intéressants résultats. Le préhistorien devra faire appel non pas à n'importe quel spécialiste, mais il devra choisir parmi les métallurgistes ou physiciens, celui qui sera à même de sentir la nature des renseignements à donner.

Comme le but de cette étude doit être de concentrer et non de disperser, il ne sera pas possible de faire état de toutes les méthodes avec les résultats qu'elles peuvent apporter, mais on définira quelques méthodes applicables aux métaux et composés métalliques.

Pour cela on procèdera par catégories de métaux en choisissant pour chacun les méthodes qui paraissent les plus appropriées, soit qu'elles aient été employées avec succès, soit qu'elles semblent d'une pratique appropriée en même temps on gardera présentes à l'esprit les questions que doit se poser l'archéologue, telles qu'elles ont été énumérées plus haut.

Le métallurgiste et l'archéologue qui auront en mains un objet de métal utiliseront (aussi simpliste que cela puisse paraître) trois sortes de moyens d'investigation :

L'observation ;

Les examens ;

Les analyses et les mesures.

Il ne faut, en effet, pas oublier qu'il y a un ordre dans lequel toute recherche doit se faire, sous peine de recommencer plusieurs fois les mêmes opérations, et qu'il faut que l'objet, une fois étudié, n'ait subi aucune altération ni aucune amputation.

L'or et l'argent

L'or est le premier métal utilisé par l'homme, il a l'avantage de ne pas subir d'altération au cours de son séjour dans le sol ; sa métallurgie est des plus simples puisqu'il se trouve à l'état natif à la surface du sol. Cependant il a été rapidement associé à l'argent et au cuivre, utilisé en placage ou sous forme de dorure.

Chaque objet d'or subira des observations et des examens, les analyses n'étant pratiquées que si cela est nécessaire. Ces objets sont rares et précieux, il importe de ne pas les détériorer. On se souviendra aussi qu'ils ont souvent été falsifiés.

Observation. — L'objet étant bien éclairé et ayant été au préalable débarrassé de toutes traces de terre ou de poussière sera soigneusement observé à l'œil ou avec une loupe de faible grossissement.

On cherchera comment il a été fait : massif ou creux, à partir d'une feuille roulée ou emboutie. Le métal a-t-il été martelé, étiré, passé à la filière ou coulé. Dans ce cas, les formes permettent de déterminer l'existence d'un moule (série) ou d'une cire perdue (pièce unique). Si la pièce est faite de plusieurs morceaux, sont-ils assemblés par pliage, rivés ou soudés. Il peut présenter des parties qui ne sont pas en or : montures, épingles, pierres, dans ce cas on notera les moyens de fixation, ou les traces de réparations anciennes (à ne pas confondre avec des réparations plus récentes). Dans le cas des monnaies, on notera les caractéristiques du coin et son degré d'usure. Toutes ces observations seront notées, on n'omettra pas la couleur, la patine et les oxydations ainsi que les détériorations dont l'objet porte les traces.

Examens. — Les premiers examens se font avec une loupe à fort grossissement ou avec une loupe binoculaire. Ils permettent de préciser le résultat des observations. On verra le degré d'usure de l'objet et la nature des instruments ayant pu servir à son élaboration, ce qui peut être utile pour déceler les faux. Si l'objet a été coulé ou moulé, cela apparaîtra aussi dans cet examen, ainsi que la nature du moule. Ces examens sont complétés par des mesures nombreuses, qui serviront à comparer des objets présumés de même origine, sans oublier le poids, si l'objet est complet et sa densité, cette dernière caractéristique permettant de déterminer immédiatement si le métal est pur ou non. On procèdera ensuite aux photographies d'ensemble ou de détail si besoin en est.

Analyses. — Il n'est pas toujours nécessaire de pratiquer des analyses ; elles le deviennent si on a quelques doutes quant à l'authenticité de l'objet où s'il présente quelque particularité intéressante, en particulier les soudures, ou pour déterminer la nature d'un alliage.

Les méthodes utilisées de préférence sont celles qui ne risquent de causer aucune détérioration si minime soit-elle à l'objet. C'est ainsi que seront utilisées les analyses microchimiques qui peuvent renseigner sur la présence de tout métal, par exemple le mercure dans une dorure, ou l'argent dans une soudure. Les analyses spectrales sont intéressantes quand il est nécessaire d'étudier toute une série d'objets et que l'on recherche surtout des résultats qualitatifs, ou l'analyse par diffraction des rayons X, qui permet de doser quantitativement avec une grande précision les métaux composant un alliage. Pour ce qui concerne plus spécialement les monnaies, des mesures de la résistivité du métal ont donné des résultats appréciables dans la détermination des faux. En effet, la résistance électrique d'un alliage varie en fonction de sa composition, comme la composition d'une série de monnaies provenant d'une même frappe ou de frappes différentes peut être facilement mesurée, il est facile de contrôler si la pièce suspecte possède la même résistance ; cette méthode est en outre très sensible.

D'une façon générale, on évitera de choisir des méthodes trop compliquées et tout l'art consiste à adapter tel ou tel procédé au but que l'on recherche : à moins que l'on ne dispose facilement d'un laboratoire spécialement outillé, il serait superflu de vouloir faire effectuer des diffractions de rayons X pour voir si tel objet en or contient de l'argent et du cuivre ; et il ne faut pas oublier que dans la pratique il est parfois difficile de trouver un laboratoire idoine qui veuille bien effectuer les recherches dont on peut avoir besoin.

A côté du métal proprement dit, il est très intéressant de rechercher la composition des matières accessoires entrant dans la composition d'un bijou : cires et ciments supportant les pierres, matières de remplissage formant le noyau d'objets creux.

Toutes ces indications et renseignements figureront sur la fiche de l'objet étudié, avec bien entendu l'indication de la méthode d'analyse utilisée.

Les objets d'argent seront examinés de la même façon que ceux en or. Il faut cependant noter que l'argent s'oxyde beaucoup plus facilement et qu'il est rarement à l'état pur. En général, il est associé au plomb, au cuivre ou à l'or. Il y aura donc à préciser autant que possible la composition des alliages, en évitant les désignations trop vagues, telles que potin ou bas-argent qui sont en général utilisées à tort et à travers. On se souviendra aussi que l'aurichalcum est un alliage de cuivre dont la composition se rapproche parfois de celle du laiton, mais qui ne contient pas de métaux précieux. Les alliages à base d'argent sont souvent dorés, et certains alliages de plomb et d'argent facilement fusibles ont été utilisés pour la fabrication d'objets moulés qui étaient ensuite terminés à la main.

Les objets préhistoriques en or sont ceux qui ont particulièrement intéressé les faussaires et souvent un authentique objet de bronze a été embelli au moyen de quelque application d'or ; on peut s'en apercevoir par examen de la patine sous la mince feuille d'or ou de la matière qui fixe l'or ; celle-ci est généralement soluble dans l'eau, l'alcool ou un solvant. Il y a aussi de magnifiques faux obtenus par galvanoplastie, mais ils ne résistent pas à un examen attentif du procédé de fabrication.

Le bronze et le cuivre

Le métal le plus courant en préhistoire est le bronze. Sous ce terme on désigne tous les alliages à base de cuivre et souvent la cuivre lui-même. C'est là une source de confusions : en principe, on ne devrait désigner comme bronzes que les objets faits d'un alliage intentionnel de cuivre et d'étain. Mais il est pratiquement impossible de savoir dans quelle mesure cet alliage a été intentionnel et l'analyse qui révèle une certaine teneur en étain n'est en cela d'aucun secours, c'est seulement quand les teneurs respectives en cuivre et en étain sont pratiquement normalisées que l'on se trouve réellement en présence d'un bronze. Ceci montre tout l'intérêt des analyses de bronzes. Il est fréquent que des objets même protohistoriques soient en cuivre à peu près pur, ceci parce que les fondeurs n'avaient pas d'étain ou qu'ils jugeaient inutile d'incorporer un produit rare au cuivre dont ils avaient besoin. Si l'on songe que les fondeurs de tous temps ont également refondu des objets de toutes provenances et de toutes compositions, on comprend la complexité du problème de la composition des bronzes anciens. Ici l'analyse est de toute première importance, mais encore ne faut-il lui faire dire que ce qu'elle peut réellement prouver.

A ce propos, il est bon de rappeler quelques propriétés de l'alliage cuivre-étain. Toutes les propriétés physiques du bronze varient suivant que l'on modifie les proportions des deux composants : avec une faible teneur en étain, 1 à 4 %, le bronze peut être martelé à froid comme le cuivre et acquérir une bonne dûreté, ce qui convenait pour les instruments tranchants. Si la quantité d'étain est très grande, le bronze est cassant et c'est le cas au delà de 10 à 20 % ; mais le métal est alors très fluide, ce qui devait intéresser au plus haut point le fondeur primitif dont les moyens de chauffe étaient rudimentaires. Quand la proportion d'étain est bonne, 8 à 12 %, le bronze se dilate en se refroidissant pour se contracter à la fin en donnant une reproduction fidèle de tous les détails du moule. Un alliage à 12 % ne pouvait se forger à froid, mais chauffé puis refroidi rapidement il prend une plus grande solidité.

Les anciens connaissaient la trempe du bronze, contrairement à ce qui est souvent affirmé ; avec 11 % d'étain, ils donnaient ainsi au métal une

résistance plus grande. A ce sujet, il convient de parler des prétendus secrets des Egyptiens aujourd'hui perdus : on trempait le bronze comme on le fait aujourd'hui et on durcissait les bords des armes par martelage.

Par contre, ce que nous ignorons, c'est comment fut découvert et par quelles civilisations, le moyen de durcir le bronze tout en le rendant plus fluide pour le moulage par addition d'étain ; ce problème qui demeure actuellement insoluble est un des grands mystères de la métallurgie ancienne.

L'étude des objets anciens en bronze et en cuivre comprendra donc deux parties qui pourront se compléter : avec l'observation et les examens on déterminera autant que possible le mode de fabrication, les analyses viendront ensuite confirmer les premières hypothèses, ou n'apporteront rien du tout.

En dehors du cuivre et de l'étain, les bronzes contiennent aussi toutes sortes d'autres métaux, comme le plomb qui vient souvent en remplacement de l'étain, le zinc qui provient de certains minerais ou des impuretés telles que le nickel et l'arsenic. L'importance de ces constituants secondaires n'est pas à négliger. La présence de certaines teneurs en phosphore donne des bronzes durs et convenant à la fabrication d'instruments tranchants, tandis que le nickel et l'arsenic ou d'autres impuretés permettent de caractériser les minerais dont les bronzes ont été tirés. Dans ce domaine, on se trouve devant de grande difficultés du fait que les minerais utilisés dans les temps les plus reculés étaient des minerais de surface dont les gisements sont aujourd'hui épuisés, alors que les couches sous-jacentes ont une tout autre composition.

Observation. — D'une façon générale, l'observation sera difficile du fait de la patine qui recouvre presque toujours les objets de bronze. Dans bien des cas toute la surface primitive de l'objet aura été détruite par la corrosion, et l'on rencontre même des objets ayant l'aspect extérieur du métal et n'en contenant plus aucune particule. Le nettoyage de ces objets est une opération très délicate surtout quand la patine est pulvérulente, mais nous éliminerons ici les cas extrêmes qui rentrent dans le domaine de la conservation des bronzes. Les objets préhistoriques ont été obtenus par martelage ou par coulée, on notera ainsi tous les détails pouvant se rapporter à l'une ou l'autre de ces opérations, et en particulier pour les objets creux tels que les bracelets, il est intéressant de noter le mode d'obturation des trous par lesquels le noyau était fixé ou enlevé. Le décor était réalisé après la fabrication de l'ébauche par ciselage, gravure, découpage et incrustation. L'étude de la fabrication du décor est aussi intéressante que l'étude du décor lui-même, les techniques de fabrication étant plus profondément ancrées chez un individu ou chez une tribu d'artisans que le décor lui-même ; une génération d'artisans utilisera toujours les mêmes gestes et les mêmes outils tandis qu'elle changera souvent de décors, sous des influences très diverses.

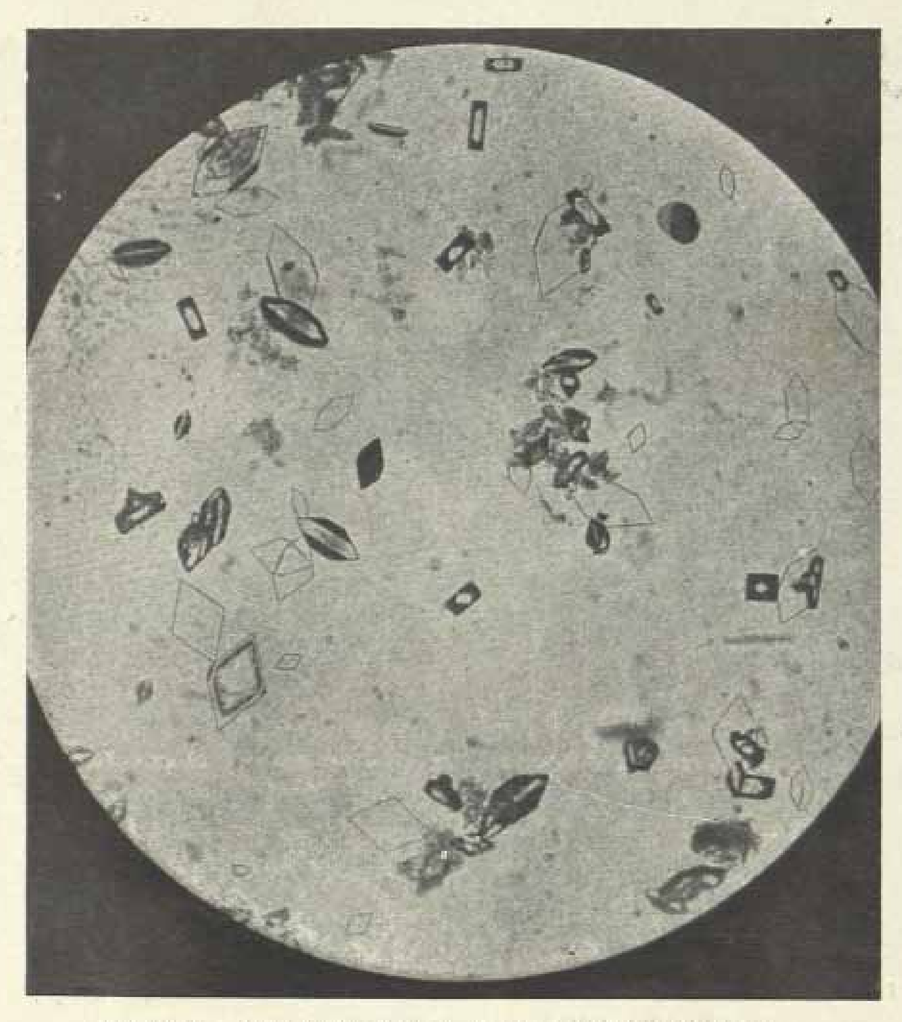


PLANCHE XI — *Analyse microchimique Réaction de l'argent dans un bronze. Grossissement 600.*

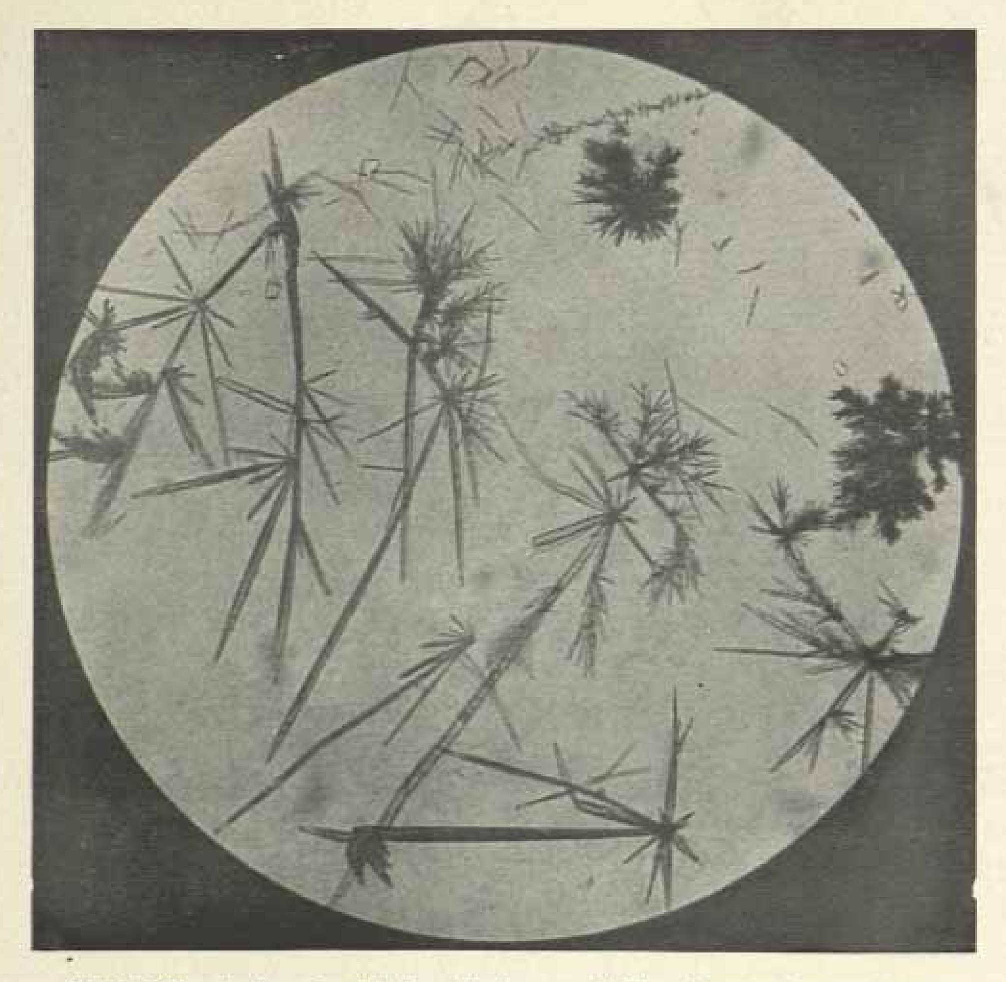


PLANCHE XII - *Analyse microchimique. Réaction caractéristique du cuivre dans un alliage ; présence de mercure (dorure). Grossissement 600.*

Examens. — Les examens se feront à la loupe à fort grossissement. On s'intéressera également à la patine, ce qui est important pour la conservation de l'objet et pour son authentification. En dehors des faux dont la patine est soit très mince, soit non minéralisée, la patine caractérise un gisement : si une patine contient des grains de silice alors que l'objet doit provenir d'un terrain calcaire, c'est qu'il y a eu erreur dans les attributions et dans le classement. La patine conserve aussi une foule de renseignements importants : traces de tissus, de végétaux, d'insectes. Les examens seront complétés si besoin en est par des photographies aux rayons infrarouges ou en lumière de Wood, ce qui peut déceler des détails de décor invisibles en lumière blanche. La technique photographique des objets de bronze est délicate et nécessite des tours de mains particuliers, si l'on veut éviter des images trop noires. Dans certains cas, l'emploi des rayons X est nécessaire, soit qu'on objet disparaisse sous une patine très épaisse, soit que l'on veuille étudier un procédé de fabrication ou de fixation. La radiographie révèlera également les décors incrustés invisibles sous les oxydes, elle permettra aussi de juger de l'épaisseur du noyau métallique intact existant sous la patine.

La structure du métal, telle qu'elle peut apparaître en surface peut renseigner sur la nature de l'alliage, de même que la couleur : les bronzes sont franchement roses lorsque la teneur en étain ne dépasse pas 5 % ; ils tendent vers l'or plus ou moins brun lorsque le pourcentage en étain croît ; si la teneur dépasse 15 %, la coloration devient de plus en plus pâle et, à partir de 50 % d'étain, les bronzes sont nettement blancs. Un bronze contenant très peu d'étain se coule mal et renferme de nombreuses bulles de gaz qui forment des trous dans le métal, c'est pourquoi les objets de cuivre ont en général été coulés à plat, comme les haches primitives par exemple.

Il est bon de mesurer les densités, qui peuvent donner des indications sur les teneurs respectives en cuivre et en étain, mais des mesures précises sont difficiles à cause de la présence de la patine. Le poids et les mesures doivent toujours être soigneusement notés. Très souvent un moulage sera nécessaire pour étudier la manière dont l'objet lui-même a été moulé, et le moule ainsi obtenu sert à comparer plusieurs objets d'une même série. Cette étude complètera celles qui ont été faites sur les moules trouvés au cours des fouilles.

Analyses. — D'une façon générale, l'analyse la plus intéressante que l'on puisse pratiquer sur les bronzes est celle qui donne les teneurs relatives en cuivre et en étain et qui indique en même temps la présence des autres constituants et des impuretés, même à l'état de traces, et le tout sans occasionner la moindre détérioration à la pièce étudiée. L'analyse spectrale quantitative permet d'obtenir des résultats fort satisfaisants, à condition d'utiliser un mode opératoire un peu spécial. Le dosage des éléments est réalisé à 1 ou 2 % près, ce qui est suffisant et les autres constituants peuvent être rangés par ordre d'importance. L'emploi de cette méthode qui a été appliquée avec succès à des bronzes anciens est à généraliser.

Les analyses microchimiques ont leur utilité quand il s'agit de reconnaître rapidement la présence d'un élément ou d'en faire un dosage approximatif, mais les analyses ordinaires par voie humide sont à proscrire, car elles nécessitent en général une trop grande quantité de métal, et qu'elles ont aussi, bien que cela puisse paraître paradoxal, l'inconvénient d'être trop précises, ce qui conduit souvent à des interprétations audacieuses des résultats qu'elles peuvent donner.

Pour les bronzes, comme pour les métaux précieux, l'analyse par diffraction des rayons X peut être utilisée avec succès, car elle permet en outre de préciser la nature des traitements thermiques qui ont été appliqués à un métal. On sait que ces traitements sont en pratique les opérations auxquelles un objet de métal est soumis après son élaboration à la forge ou par coulée. Selon la façon dont cet objet a été chauffé, réchauffé ou refroidi, ses qualités physiques et mécaniques peuvent varier dans des limites considérables : si l'on prend deux outils de même composition, l'un pourra être trop cassant et l'autre trop mou, bien qu'ils proviennent du même lingot. On corrige ces défauts par les traitements thermiques : trempe, revenu, recuit.

Ces opérations modifient la structure cristalline du métal, et l'étude de cette structure montre les traitements auxquels il a été soumis. L'intérêt de cette étude est pour les archéologues aussi précieuse sinon plus que celle de la composition de l'objet lui-même. En effet, l'artisan préhistorique n'était pas toujours maître de la composition des objets qu'il produisait, il ne pouvait connaître les teneurs de ses minerais ou des métaux qu'il réemployait et nous savons que le fondeur ou l'orfèvre n'étaient pas ceux qui produisaient le métal (des centaines de kilomètres les séparaient souvent). Mais cet artisan pouvait, par les traitements thermiques, améliorer les produits de sa fabrication. C'est donc l'étude de ces traitements, comme l'étude de la mise en œuvre du métal (moulage, coulage), qui nous renseignera le plus utilement sur le degré d'évolution de tel ou tel groupe d'individus, et ceci infiniment plus que la détermination des constituants du métal.

C'est ici qu'intervient le métallurgiste proprement dit et non plus le chimiste.

Métallographie

C'est l'étude de la structure cristalline d'un métal ou d'un alliage, en vue d'en déterminer la composition et l'histoire. Le mode opératoire est simple : on polit soigneusement une petite surface de métal, on l'attaque avec un réactif approprié au but recherché et on l'examine soit au microscope (micrographie), soit sous un très faible grossissement (macrographie). Il est exceptionnel qu'un préhistorien puisse effectuer

lui-même des métallographies, il devra donc s'adresser à un spécialiste. La seule difficulté réside dans la préparation de la surface polie ; il ne faut évidemment pas abîmer l'objet, et bien que le polissage ne cause aucune perte en poids appréciable, il ne faut pas que la présence d'une plage brillante vienne déparer l'aspect d'un bijou. Cette surface doit être parfaitement plane et pouvoir être examinée au microscope, elle ne peut donc être choisie n'importe où. Il faut que l'archéologue s'entende à ce sujet avec le métallographe ; il lui demandera également l'interprétation des résultats, et la discutera avec lui. Car il ne faut pas oublier de placer toute technique de fabrication dans son cadre historique pour lui donner toute sa valeur, sans quoi on risque d'aboutir à des non-sens.

Il est évident qu'il n'est pas possible de pratiquer toutes ces analyses sur chaque objet de bronze que comporte une collection, mais chaque objet mérite du moins un examen attentif et des analyses peuvent être faites soit systématiquement soit en vue d'une étude bien déterminée.

Tels sont les types d'analyses auxquels pourront être soumis tous les bronzes et cuivres anciens.

En dehors des métaux précieux et de leurs alliages, du cuivre et de ses alliages, on rencontre l'étain employé pur surtout pour étamer des bronzes, des miroirs par exemple, ou pour imiter l'argenture avec laquelle il ne faut pas le confondre. Le zinc ne se trouve jamais à l'état pur dans l'antiquité, il n'a été isolé que bien plus tard, mais il entre dans certains alliages ; le plomb, par contre, est beaucoup plus fréquent. On le trouve soit en alliages, dans certains bronzes, dans l'argent, soit pur. L'étude de ces divers métaux et alliages ne présente pas de difficultés spéciales et peut être entreprise avec les méthodes précédemment exposées.

Le fer

Après le bronze, le métal le plus répandu est le fer. S'il appartient encore à la préhistoire, il annonce déjà les temps historiques et la métallurgie du fer, ainsi que sa mise en œuvre à la forge, révèlent chez l'homme une parfaite maîtrise, une somme de connaissances techniques qui ne variera guère au cours de dix siècles. Les études sérieuses concernant les premiers pas de la métallurgie du fer sont rares, et bien des travaux anciens contiennent des erreurs dues à des examens trop superficiels, c'est seulement grâce à des analyses rigoureusement menées qu'il est possible d'obtenir des résultats positifs.

Observation. — L'observation des fers préhistoriques est rendue très difficile à cause de l'épaisseur des oxydes qui les recouvrent. Il est même fréquent de ne plus trouver de fer, et il ne reste plus qu'une masse d'oxydes parfois totalement reminéralisés.

Dans la mesure du possible, il est nécessaire de débarrasser les objets de ces oxydes pour leur rendre leur aspect. Dans la plupart des cas c'est une chose possible, elle a également l'avantage de permettre une bonne conservation des objets, qui autrement n'est que fort aléatoire.

Une fois l'objet décapé, il peut être observé.

Le décapage aura permis de distinguer toutes les particularités de l'objet : sa forme exacte, le décor souvent gravé ou obtenu à la forge.

Tous les objets de fer ayant été façonnés à la forge, c'est surtout sur les caractéristiques de ce travail que portera l'observation. On se souviendra que, souvent, les armes des époques de la Tène sont ornées de toutes sortes de décors obtenus par estampage et portent même des marques de fabriques qui, trop souvent, ont passé inaperçues.

On notera également les particularités d'emmanchement des armes, de fixation et l'exacte destination des outils.

Examens. — Les examens seront faits avant et après le décapage. En effet, la gangue d'oxydes qui entoure les antiquités en fer contient souvent des restes qui sont précieux par les renseignements qu'ils apportent : fragments de bois des emmanchures, restes de tissus, restes végétaux et animaux, la plupart de ces matières peuvent facilement être identifiées, les tissus peuvent être déterminés ainsi que les essences de bois. On fera également toutes les mesures utiles en ayant soin d'adopter pour chaque type d'arme ou d'outil un mode de mensuration analogue de façon à permettre des comparaisons par simple rapprochement des chiffres ; chaque arme possède ainsi sa formule propre. On fera de même pour les photographies qui, seront prises non pas sous l'angle le meilleur pour la beauté de l'objet, mais d'une façon purement systématique.

Analyses. — Comme pour les bronzes, les analyses doivent avoir un double but : renseigner sur la composition et sur le mode de fabrication. Pour cela on dispose essentiellement de trois sortes d'analyses : les rayons X, les dosages chimiques et les analyses métallographiques. Appliqués aux fers, les rayons X donnent d'excellents résultats, ils montrent avant le décapage ce que l'on peut être en mesure de trouver et quelle quantité de métal subsiste encore au cœur de l'objet. Dans le cas d'incrustations ils sont particulièrement précieux, en révélant sous la couche d'oxydes, le décor que l'on peut espérer retrouver. A côté de cela, ils montrent parfaitement les diverses soudures existant entre les éléments dont est fait un objet forgé. La plupart des antiquités de fer sont faites soit de fer pur, soit de fer légèrement carburé (acier) souvent les deux à la fois, cette différence de composition apparaît remarquablement bien aux rayons X. Cet examen appliqué aux épées de la Tène aurait permis d'éviter un certain nombre d'erreurs qui ont été systématiquement retranscrites par un grand nombre d'auteurs.

Les analyses chimiques ont pour les métaux ferreux l'inconvénient de nécessiter une certaine quantité de métal qu'il est souvent impossible de

prélever sans abîmer l'objet, c'est ainsi que telle pointe de flèche en fer météorique a été défigurée pour permettre une série d'analyses qui n'ont été d'aucune utilité. Quand on peut se le permettre il est intéressant de faire un dosage de carbone, mais l'expérience a maintes fois montré que le métal n'étant pas du tout homogène, les résultats obtenus ne sont en général pas d'une grande utilité pratique. L'analyse spectrale a l'avantage de ne pas du tout détériorer les objets, cependant qu'elle donne la nature de tous les constituants et de toutes les impuretés. En principe, il faut éviter de faire une analyse sans savoir *a priori* ce que l'on cherche, sinon on risque fort de s'égarer. Il existe ainsi une grande quantité d'analyses de fers anciens qui ne sont d'aucune utilité, mais qui ont été entreprises « à tout hasard » ou pour donner à une étude un faux air savant, ce qui ne peut que faire déconsidérer les recherches scientifiques. Il faut donc que l'archéologue puisse diriger le métallurgiste, sinon on fera les stériles comparaisons entre les techniques modernes et les techniques anciennes, qui tendent toujours à prouver que peu de choses ont été inventées de nos jours. De tels raisonnements ne peuvent également que faire du tort aux recherches sérieuses. La grande difficulté des examens scientifiques est de tirer des conclusions valables en fonction de l'époque à laquelle les objets ont été faits, et sans déformer des résultats. On a parfois affirmé que telle technique ancienne ignorait la trempe de l'acier, alors qu'il aurait fallu dire que la faible teneur en carbone de cet acier ne permettait pas la trempe, ce qui est évidemment très différent.

Ce sont les analyses métallographiques : micrographies et macrographies qui donneront encore les résultats les plus intéressants, car elles indiquent la composition du métal, sa teneur en carbone, sa structure et les traitements thermiques qui ont été appliqués au métal, par conséquent tout le processus de fabrication de l'objet étudié. Ces examens peuvent, en général, être pratiqués sur une arme ou sur un outil sans lui occasionner de détérioration, les objets brisés ou en mauvais état permettront de faire des coupes dont l'examen est particulièrement utile, et dans certains cas il peut même y avoir intérêt à sacrifier une pièce en bon état pour permettre l'étude de toute une fabrication.

A côté des analyses, et comme complément de celles-ci, il existe les essais mécaniques. Ce sont des essais destinés à déterminer les caractéristiques mécaniques du fer étudié. La technique moderne a créé les micro-essais qui permettent d'opérer sur des éprouvettes de très petite dimension. Le microbillage peut être pratiqué sur tout fer sans nécessiter de prise d'échantillon, il renseigne sur la dureté du métal considéré. Les micro-traction et micro-flexion, micro-cisaillement et micro-choc nécessitent eux la prise d'échantillons mesurant quelques dizaines de millimètres de long et quelques millimètres carrés de section. Grâce à eux, on peut déterminer exactement toutes les caractéristiques mécaniques possibles, cependant les résultats obtenus sont souvent décevants, en premier lieu parce que les fers anciens sont rarement homogènes et ensuite parce

que ces caractéristiques mécaniques sont à peu près constantes dans tous les objets étudiés, des résultats moyens pouvant seuls être pris en conséquence.

Dans la mesure du possible, on peut les pratiquer, mais il ne faut pas leur demander autant d'enseignement qu'ils peuvent en fournir actuellement dans l'étude des aciers modernes où de très faibles variations de ces caractéristiques mécaniques sont d'une grande importance. Il ne faut pas oublier qu'aux époques qui nous intéressent, rien n'est normalisé ni homogène.

C'est donc essentiellement sur la mise en œuvre du métal que doivent surtout porter les recherches appliquées à la métallurgie ancienne, et c'est là un champ d'expérience très étendu. En premier lieu, étude de la préparation du fer à partir des minerais, par l'examen des lingots, des scories de forge et des fours, abondants dans certaines régions. Ensuite vient l'étude de l'utilisation de ce fer et de sa transformation en outils ou en armes, qui est essentiellement l'étude de procédés de forge. Le fer pur n'offre pas de qualités mécaniques bien remarquables et, pendant des siècles, toutes les techniques anciennes ont cherché à améliorer ces qualités. C'est ainsi que le fer pur a été carburé, mais comme on ne pouvait carburer d'une façon relativement homogène que de très petits morceaux de métal, les forgerons se sont efforcés de réaliser le meilleur emploi possible des morceaux plus ou moins carburés, ou d'utiliser des minerais leur donnant les meilleurs résultats possibles.

Conclusions

On voit tout l'intérêt de l'étude des métaux anciens, et cela non seulement pour l'histoire des techniques et pour l'histoire des sciences, mais comme moyen de préciser la recherche archéologique.

Les techniques ont progressé lentement, mais elles ont progressé, ce qui signifie que d'une époque à l'autre il est possible de constater une amélioration des moyens de fabrication ou d'utilisation des matières premières, même si le style des objets fabriqués semble par ailleurs dégénérer. Evidemment, une telle progression ne se fait pas sans à-coups ; au cours d'une évolution, des difficultés peuvent survenir qui transforment le milieu économique dans lequel se développent les techniques. Mais celles-ci suivent une évolution sensiblement différente de celle des styles. Ces derniers sont plus sensibles aux modes et aux influences. Les techniques ont été conservées pendant des millénaires par des catégories de gens bien définies qui constituaient des groupements d'artisans, dont certains sont demeurés légendaires ; l'homogénéité même de ces groupements leur a permis de posséder un caractère quasi religieux. En matière

de technique, la preuve de cette homogénéité nous est donnée par la constance des procédés de fabrication. De même qu'il existe des courants artistiques, il existe des courants de techniques, plus difficiles certes à définir, mais aussi plus profondement fixés, car chaque objet aussi modeste soit-il conserve en lui l'image de sa fabrication quand même sa forme ne permet de le rattacher à aucune influence artistique.

Si l'étude des moyens de fabrication semble bien différente de celle des styles, elle présente avec cette dernière bien des caractères communs. En premier lieu, elle poursuit le même but, mais aussi elle obéit à la même discipline qui est la rigueur de la recherche archéologique. Cette rigueur doit être encore plus grande, car elle se double de la rigueur scientifique. La règle générale est la prudence.

Il faudra bien des années de recherches dans le domaine des techniques, avant de pouvoir tirer des conclusions d'ordre général. Il n'est que de penser à l'effondrement de maintes théories archéologiques ou historiques. L'archéologue, s'il est scientifique, doit être doublement prudent. Les critiques auxquelles ses imprudences ne manqueraient pas de l'exposer ne seraient qu'une salutaire leçon si elles ne risquaient pas de causer un tort extrême à toute une série de méthodes que l'on s'efforce de développer.

Une analyse ne doit jamais être entreprise avec l'arrière pensée d'épauler une théorie aussi solide qu'elle puisse paraître. Si la similitude totale de deux décors permet parfois de conclure à une influence ou à une parenté, il faut infiniment plus d'analyses avant de conclure à une parenté entre deux techniques qui se sont développées dans les milieux fort éloignés. On a vu très souvent, en matière d'histoire des sciences, deux découvertes absolument analogues se faire au même moment sans qu'il y ait eu la moindre contact entre les deux inventeurs, uniquement parce que tous deux cherchaient une solution au même problème. Aux époques préhistoriques et protohistoriques, les hommes, à des milliers de kilomètres de distance ont eux aussi cherché des solutions à des problèmes semblables, plus ou moins complexes, et ils ont pu aussi trouver la même solution à ces problèmes.

Ceci ne doit évidemment pas décourager le chercheur, tout au contraire, car si les difficultés sont grandes, les résultats sont précieux, parce qu'en dernier ressort, ils possèdent une très grande rigueur, un caractère presque absolu qui renforce considérablement leur valeur.

Les méthodes de recherche auxquelles il vient d'être fait allusion au cours des pages précédentes peuvent paraître bien complexes, mais il ne faut pas oublier que, au cours d'une même recherche on n'aura besoin d'utiliser tout au plus que l'un ou l'autre des procédés décrits, et que de la sorte, l'archéologue se familiarisera rapidement avec eux.

L'essentiel est de réaliser une bonne collaboration entre archéologues et techniciens. Les analyses chimiques ne peuvent être pratiquées que par des laboratoires spécialisés, il importe alors de bien définir aux opérateurs

ce que l'on attend d'eux, comme il a été exposé plus haut, les dosages quantitatifs seront réservés aux seuls éléments réellement intéressants, alors qu'une analyse qualitative du tout aura toujours son importance. On déterminera aussi la précision nécessaire dans les dosages : pour le cuivre et l'étain elle est de 0,5 % ; pour le carbone dans les fers elle sera de 0,05 %. Les analyses chimiques se rapportant aux métaux peuvent être effectuées par tous les laboratoires industriels et par les laboratoires universitaires. Les analyses microchimiques, surtout quand elles sont strictement qualitatives, ce qui est le cas général et quand elle ne concernent que des éléments métalliques, sont simples et très rapides. Une parcelle infime du corps à étudier est déposée sur un porte-objet, dissoute dans un acide et soumise à l'action de différents réactifs. Ces réactions et les cristallisations auxquelles elles donnent lieu sont observées au microscope et permettent de déterminer les éléments recherchés.

La prise d'échantillons pour les analyses chimiques est toujours délicate, car il faut une certaine quantité de métal sain et aussi homogène que possible. On prélève des copeaux du métal à étudier, soit avec un foret, soit avec une fraise.

Les diverses radiographies peuvent, en général, être faites avec des appareils de radiographie médicaux, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours aux installations spéciales pour la métallurgie, qui sont peu nombreuses. Il n'en est pas de même pour les analyses spectrales qui nécessitent des installations compliquées et assez rares. La pièce à étudier est simplement soumise à une étincelle électrique, dont la trace n'est ensuite pratiquement pas perceptible.

La pratique des examens métallographique est très simple, mais elle nécessite toujours l'intervention d'un spécialiste. Il en existe dans tous les centres industriels importants et dans la plupart des villes universitaires. D'une façon générale il est toujours possible de se renseigner soit auprès des universités, soit auprès des chambres de commerce qui peuvent les unes comme les autres aiguiller les chercheurs sur les laboratoires susceptibles de les renseigner. De nombreux exemples personnels m'ont permis de constater que, partout, dans les facultés, comme dans l'industrie, un accueil aimable a toujours été réservé à mes demandes, et la plupart du temps les spécialistes se sont montré vivement intéressés par les problèmes nouveaux qui leur étaient posés. Il ne faut pas oublier que leur temps est précieux et l'on s'efforcera de ne les consulter qu'à bon escient.

Comme on l'a vu, le décapage des objets métalliques doit souvent précéder les examens. Ce décapage peut être une opération très simple ou extrêmement compliquée suivant l'état de la pièce. Pour les fers comme pour les bronzes, il est toujours possible d'améliorer l'aspect des objets, mais s'il existe de nombreux procédés préconisés, tous ne sont pas bons, et presque chaque traitement varie suivant le cas qui se présente. Le nettoyage seul des objets peut être fait par n'importe quelle personne soigneuse, mais pour tout ce qui est décapage, il vaut mieux s'adresser à un



Planche XIII — A. - *Micrographie d'une pointe d'épieu en fer : soudure à la forge entre du fer pur et du fer plus carburé.*

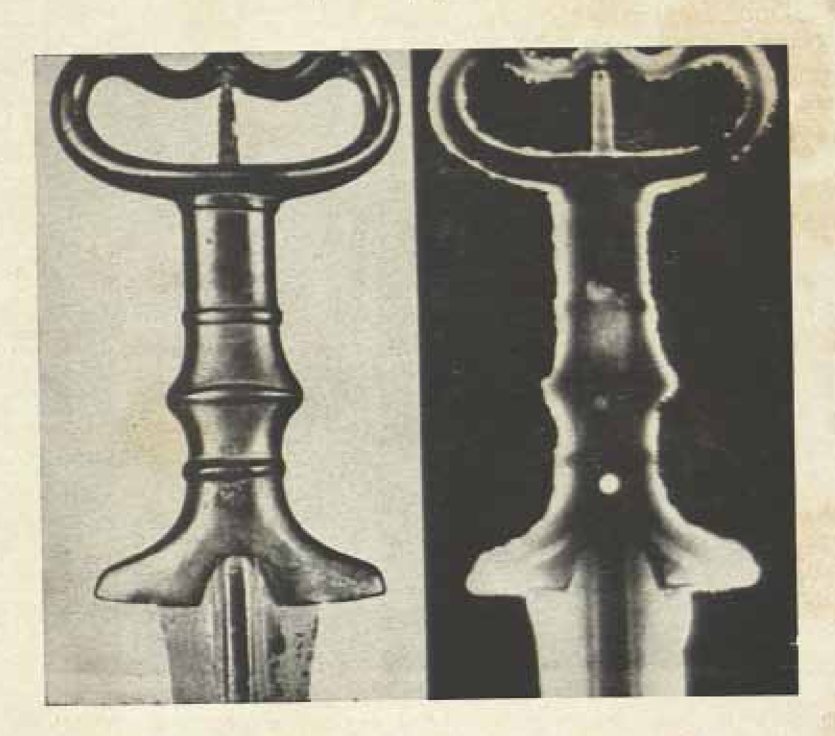


Planche XIII — B. - *Poignée d'une épée de bronze et sa radiographie montrant la fixation de la lame.* (D'après A. Oldeberg, *Mettallteknik under förhistorisk tid*, tome I, p. 80.)

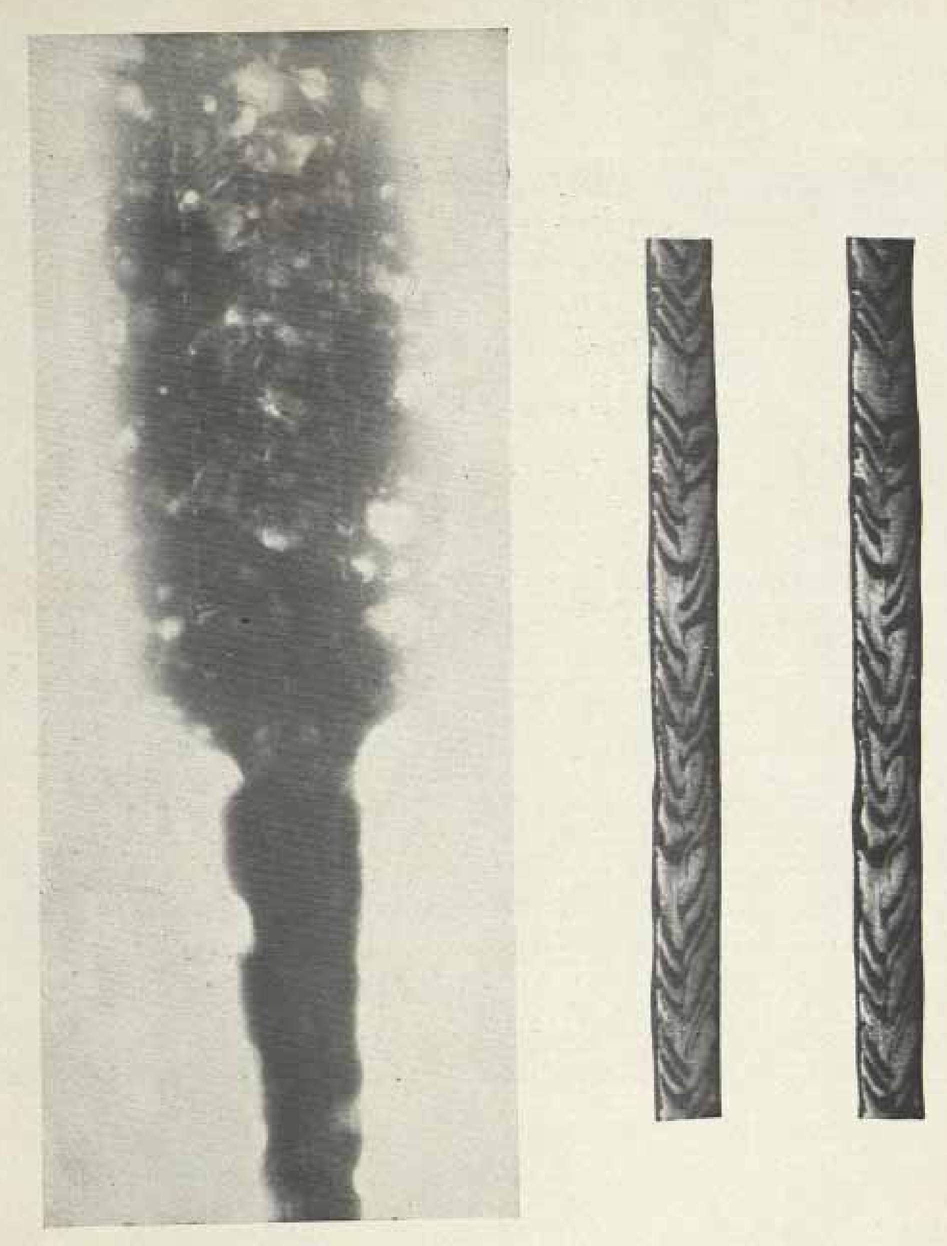


PLANCHE XIV — *Radiographie d'une lame d'épée damassée mérovingienne. On distingue les soudures longitudinales et les parties diversement carburées ; sections longitudinales de cette lame. — Attaque macrographique, en foncé le fer pur, en clair le fer carburé. Grossissement 3.*

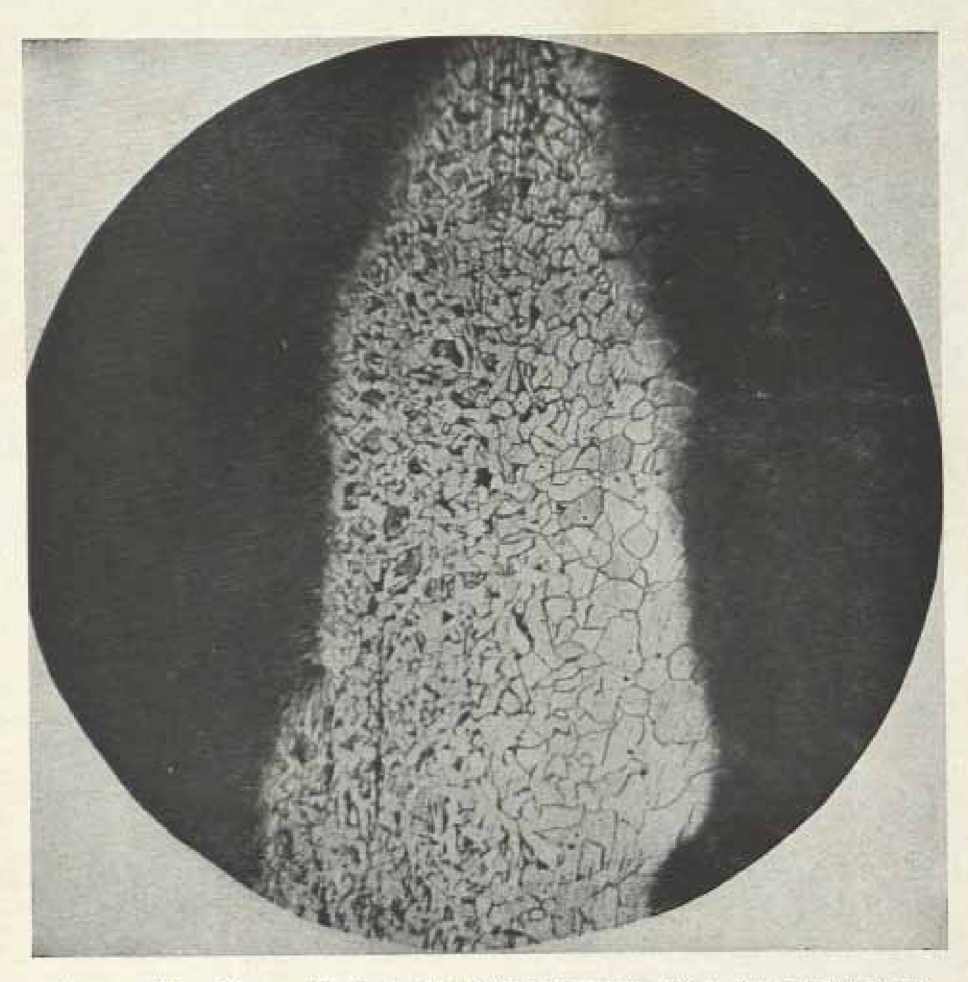


PLANCHE XV — *Micrographie du tranchant d'un petit couteau celtique. Fer grossièrement et irrégulièrement carburé. Grossissement 100.*

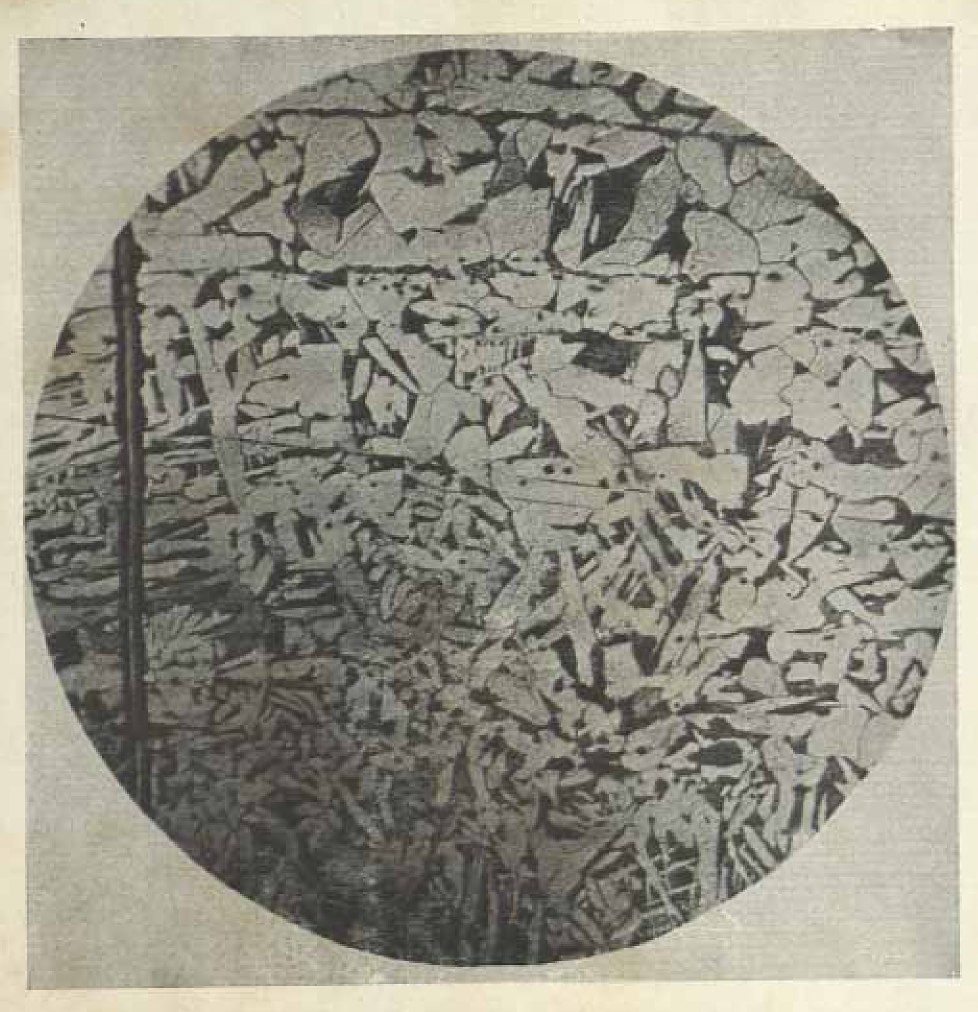


Planche XVI — *Micrographie dans l'extrémité d'une lance en fer. Forte teneur en carbone ; structure de Widmanstätten provenant d'une forte surchauffe suivie d'un refroidissement lent, 0,3 % de carbone.*

spécialiste. Il faut surtout ne pas oublier que presque tous les objets métalliques préhistoriques ne peuvent guère se conserver convenablement sans un traitement spécial. Le nombre des antiquités qui se détruisent dans les vitrines des musées ou dans les collections privées est considérable.

Enfin, il convient également de ne pas oublier que le but de toute recherche archéologique est la connaissance de l'homme, et par là, l'étude des techniques apparaît comme l'auxiliaire indispensable de l'histoire.[1]

A. France-Lanord.
Musée Historique Lorrain. Nancy.

1. Voir appendice p. 335-337.

CONCLUSION

Que penser de toutes ces possibilités ?

Ces traces conservées que l'on ne soupçonnait pas tout d'abord, ces phénomènes enregistrés que nul n'aurait cru pouvoir être enregistrés, sont-ils l'indice que bien d'autres traces, bien d'autres vestiges encore inconnus s'accumulent lentement dans ces archives naturelles que nous commençons à peine à déchiffrer. Les possibilités de remonter le cours du passé déjà sont immenses. De nouvelles découvertes sont probables. Peu à peu il nous semble que chaque grain de poussière ait sa signification, que chaque poussière de charbon ait une histoire à raconter, une date à fournir.

En admettant que les découvertes des dernières années se confirment et se multiplient, la reconstitution du passé continuera à se heurter à une série de difficultés dont la première est d'ordre pratique. A la limite, chaque parcelle organique ou minérale d'une fouille, le moindre grain de poussière, le moindre éclat de caillou devrait être repéré, inventorié, analysé, mesuré. Vertige de la reconstitution, vite freiné d'ailleurs par les limites que nous imposent le temps — et l'argent.

Les préhistoriens de tous les pays, et de la France en particulier, disposent de moyens matériels fort rudimentaires. Nous manquons de crédits, nous manquons plus encore peut-être de techniciens. Des recherches « parfaites », ou soi-disant telles, demanderaient un tel effort financier et humain qu'il est pratiquement impossible de les envisager actuellement. Dans tous les domaines des applications des sciences à la préhistoire, il s'agit plus souvent de possibilités que de réalisations.

D'ailleurs, il serait vain de se laisser prendre par ce vertige de la reconstitution et, en fait, on peut se demander ce que peut bien représenter cette notion de fouille parfaite. Il est certes indispensable de noter le plus d'observations possibles dans son journal de fouilles, de faire en abondance des photos et des plans, de recueillir des échantillons toutes les fois que l'occasion s'en présente, de connaître toutes les méthodes utilisables pour pouvoir apporter aux techniciens les matériaux qui leur sont nécessaires. Il est possible que des documents, même momentanément inem-

ployés, servent un jour à résoudre par des méthodes que l'on ignorait quelque problème que l'on ne se posait pas. Mais où s'arrêter dans cette récolte de documents. Elle est longue et fastidieuse, elle coûte beaucoup d'efforts donc beaucoup d'argent, et si elle n'a été fait selon un plan d'ensemble et pour répondre à des problèmes déterminés, elle restera la plupart du temps inutilisée, peut-être inutilisable. Le fouilleur risque d'accumuler des matériaux dans des dossiers et dans des tubes à échantillons et de laisser passer le détail infime et pourtant essentiel qui donne la clé du problème. Nul, par exemple, n'aurait songé à noter avec exactitude l'orientation d'une pierre de foyer s'il n'avait connu la possibilité d'en étudier l'âge grâce à son aimantation thermo-rémanente.

Jusqu'à ces derniers temps, les débris de charbons de bois non identifiables du point de vue botanique étaient rejetés comme dépourvus d'intérêt. Les découvertes concernant la radioactivité du carbone viennent d'en montrer l'inestimable valeur. On rejette encore les esquilles et les débris d'os non identifiables ; pourtant un savant suédois aurait peut-être trouvé le moyen d'identifier de tels débris humains, d'en déterminer le sexe et l'âge, et d'appliquer ces identifications à l'étude statistique des populations dites de champs d'urnes dont les pratiques crématoires ont laissé d'innombrables vestiges [1].

D'ailleurs la simple accumulation des documents risque toujours, quelque soigneusement qu'elle soit faite, de laisser passer le détail significatif — et donc de détruire un site sans véritable intérêt scientifique. Il est nécessaire non seulement de connaître les techniques d'étude possibles, mais aussi de poser des problèmes. Il faut fouiller avec son intelligence autant et plus qu'avec ses mains et avec son grattoir.

Une fouille parfaite où tout serait noté serait non seulement impossible, mais encore bien vaine. Dans la mesure où l'histoire de chaque objet, de chaque trace d'occupation humaine ou d'action climatique pourrait être reconstituée, rien ne prouve que cette histoire présenterait un intérêt quelconque. Il est émouvant, certes, agenouillé sur l'argile humide d'une grotte de retrouver sous le grattoir le sol sur lequel marchaient nos ancêtres il y a 10 ou 20.000 ans. Sa surface est parsemée de fragments de charbons de bois, de cendres, d'outils oubliés, de déchets de cuisine. Au milieu,

1, D'après *Antiquity*, n. 94, juin 1950, pp. 46-47. Voir Nils Gustav Gejvall, Fornvännen, 1947 et Kungl. Vitt. Hist. och Antikv. Akad. Handl. del. 60 : 2. Stockholm, 1948.

deux ou trois pierres forment l'ancien foyer. Elles sont rougies par le feu. Et l'image se lève du groupe humain qui se chauffa autour de ce feu, qui rongea ces os, qui tailla ces silex.

Mais l'intérêt d'une telle découverte — la plus passionnante pour le fouilleur — répétée à des dizaines, à des centaines d'exemplaires, ne dépasse plus celui du fait divers. Il est émouvant de réussir à reconstituer des lambeaux de la vie de l'homme notre ancêtre, mais à partir d'un certain degré de connaissance, et nous avons depuis longtemps dépassé ce degré, il ne s'agit plus de science, mais d'anecdote et de pittoresque. Le détail curieux et qui fait la joie du fouilleur, ne présente d'intérêt scientifique que dans la mesure où il apporte un élément nouveau et permet d'éclairer un problème posé, dans la mesure où l'on peut le rattacher à des problèmes généraux, et par delà à l'histoire de l'évolution humaine à partir des origines qui est le but dernier de la préhistoire. Car le préhistorien n'est pas un historien. Il n'est pas à la recherche des événements dont, de toutes façons, il ne pourra jamais retracer la chaîne. Il essaie de retrouver des lois générales, un sens général d'une évolution biologique et culturelle.

Ainsi il peut être intéressant d'analyser les ossements d'un *gisement privilégié* pour résoudre tel ou tel *problème particulier* ; mais vouloir pratiquer systématiquement de telles analyses sur tous les ossements découverts serait à la fois impossible et stérile [1]. Tout noter, tout observer, c'est bien, mais ce n'est pas assez. Dans la mesure où avant de s'attaquer à un gisement, un ou plusieurs problèmes ne sont pas posés, on risque de faire du travail inutile et de détruire irrémédiablement le passé. Et si l'on objecte que les problèmes naissent d'eux-mêmes sous l'outil du fouilleur, il est facile de répondre que le fait de s'être fixé une ligne générale de recherches ne les empêchera pas de naître.

Pour les époques pour lesquelles nous ne connaissons encore que bien peu de choses, comme le Paléolithique Ancien par exemple, une découverte même isolée peut avoir son intérêt et son importance. Mais pour les époques plus récentes et mieux connues comme le Paléolithique Récent ou le Néolithique des stations lacustres, les fouilles anarchiques devraient être proscrites. Les Instituts de recherches, les Commissions archéolo-

1. Certains fouilleurs amateurs croient bien faire en envoyant de nombreux échantillons à analyser aux laboratoires spécialisés, et il arrive qu'ils n'aient même pas la moindre idée des résultats auxquels pourront conduire les analyses qu'ils demandent. Dans la plupart des cas, ils perdent leur temps et le font perdre aux chercheurs auxquels ils s'adressent.

giques et préhistoriques devraient poser des problèmes — et ils sont nombreux — et n'autoriser les fouilles que dans la mesure où celles-ci pourraient y apporter une solution. Chacun, amateur ou spécialiste, y gagnerait de ne pas voir éparpiller ses efforts et de ne pas risquer de s'apercevoir un jour que les plus beaux gisements sont épuisés et qu'il n'est plus possible que de grapiller sur les franges.

Cette organisation de la recherche est, en préhistoire, plus indispensable que dans la plupart des autres sciences pour lesquelles les matériaux sont pratiquement ou théoriquement inépuisables. S'il est vrai que le contexte est au moins aussi important que les vestiges d'industrie exhumés, la préhistoire a ceci de particulier qu'elle détruit l'objet même de son étude. Dans le domaine des sciences historiques, la quantité des matériaux certes est limitée, mais ils peuvent être réutilisés presque indéfiniment. Avec quelles infinies précautions aborderait-on l'étude de vénérables parchemins, dont on saurait que le seul fait de les consulter les ferait tomber en poussières ? De quel droit le préhistorien serait-il moins consciencieux ? Et cependant on fouille, on fouille, on fouille dans le secret espoir de trouver mieux que le voisin, et avant lui. Et pour aller plus vite on néglige parfois les prises d'échantillon, les observations, les analyses. Pourtant nous ne sommes pas pressés. Des gisements ont attendu des dizaines de milliers d'années. Ils attendront bien encore dix ou vingt ans.

En 1847, Boucher de Perthes écrivait dans le premier volume des *Antiquités Celtiques et Antédiluviennes* : « ... et l'on regrette presque que (les vestiges de ces temps reculés) aient été arrachés à cette terre, où, un jour, ils auraient servi à constater un fait qui, aujourd'hui, ne peut plus être. Il est vrai que la source n'en est pas tarie, mais il est temps d'y pourvoir. »[1]

Un siècle a passé. Il est temps d'y pourvoir.

A. Laming.

1. *Antiquités Celtiques et Antédiluviennes*, I, pp. 114-115.

APPENDICES

NOTES BIBLIOGRAPHIQUES
ET RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

On ne pouvait dans cette série de notes envisager de réunir toute la bibliographie, encore moins tous les renseignements et adresses se rapportant aux différents chapitres traités dans l'ouvrage. On a seulement voulu ajouter quelques précisions qui eussent alourdi le texte même et fournir une orientation bibliographique à ceux qui voudraient approfondir certaines questions. On a signalé autant que possible dans les notes bibliographiques des études générales récentes comportant des références plus complètes. Les ouvrages cités au cours des chapitres n'ont été répétés ici que dans la mesure où ils présentaient une importance particulière. En général, chaque auteur a fourni lui-même la bibliographie et les renseignements concernant son chapitre. Quelques indications y ont parfois été ajoutées.

Le lecteur désireux d'obtenir une bibliographie ou des renseignements plus détaillés pourra consulter le Centre de Documentation et de Recherches Préhistoriques au Musée de l'Homme de Paris (C. D. R. P.), dont le service de documentation est accessible à tous. Il existe d'autre part, au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris un Centre d'Études et de Documentation Paléontologiques (C. E. D. P.) dont la documentation très importante englobe en fait, outre la paléontologie animale et végétale, l'ensemble des sciences de la terre : géographie, géophysique, minéralogie, pétrographie, etc. Le C. E. D. P. publie un bulletin trimestriel d'information.

LA DÉCOUVERTE DU PASSÉ

I. — Pour la question des origines de la préhistoire, on peut consulter les ouvrages ou études suivants dans lesquels on trouvera des bibliographies plus complètes, surtout en langue française et anglaise :

AUFRÈRE (L.). — *Essai sur les premières découvertes de Boucher de Perthes et les origines de l'archéologie primitive* (1838-1844), Paris, Staude, 1936, Épreuves et Synthèses n. 1, 48 p., 4 fig. (Mise au point sur le rôle réel de Boucher de Perthes dans les années 1838-1844).

BOULE (M.). — *Les Hommes Fossiles, Eléments de Paléontologie Humaine*, 3e édit. par H. V. VALLOIS, Paris, 1946, XII-587 p., 294 fig. (Chap. I, Historique, p. 1-24, et *passim*).

CARTAILHAC (É.). — *L'âge de la pierre dans les souvenirs et superstitions populaires*, Paris, 1877, 103 p. fig.

CARTAILHAC (E.). — *La France préhistorique d'après les sépultures et les monuments*, Paris, 1889, IV-336 p., fig. (Chap. I, Historique des progrès de la science sur les civilisations primitives et l'ancienneté de l'homme, p. 1-27, et chap. X, Cryptes sépulcrales mégalithiques, Légendes et premières études, p. 162-178).

CHEYNIER (Dr André). — *Jouannet, grand-père de la Préhistoire*, Brive, Imprimerie Chastrusse, 1936.

DANIEL (Glynn E.). — *A hundred years of Archaeology*, London, Gerald Duckworth and Co, 1950, 344 p.

HAMY (E. T.). — *Précis de Paléontologie humaine*, Paris, J. B. Baillière et fils, 1870, IV-376 p., fig. (Chap. I, p. 8-37).

HAMY (E.-T.). — « Matériaux pour servir à l'histoire de l'archéologie primitive », *Revue Archéologique*, 1906, I, p. 239-259 et II, p. 37-48.

MAURY (A.). — « L'homme préhistorique. Des lumières que les découvertes paléontologiques récentes ont jetées sur son histoire », *La Revue des Deux Mondes*, 1er avril 1867, p. 637-663 (Résumé des connaissances acquises, Historique, Méthodes, etc.)

II. — Sur les tendances récentes des Sciences Préhistoriques et sur leur organisation, on peut consulter :

Conference on the Future of Archaeology (6-8 août 1943), Institute of Archaeology University of London, Occasional Paper n. 5, 66 p.

Conference on the Problems and Prospects of European Archaeology (16-17 sept. 44) Institute of Archaeology, University of London, Occasional Paper n. 6, 77 p.

Council for British Archaeology. — *Notes for the Guidance of Archaeologists in regard to expert evidence*, publiées par the Council for British Archaeology, Institute of Archaeology, Inner Circle, Regent's Park, London NW1, 7 pages (notes, conseils, indications bibliographiques et adresses d'Instituts anglais concernant la géologie et la pétrographie, la pédologie, la paléontologie végétale, animale et humaine, l'étude du métal et de différents autres matériaux).

Council for British Archaeology. — *A Survey and Policy of Field Research in the Archaeology of Great Britain*, I, Prehistoric and Early Historic Ages to the Seventh Century A. D., publiée par The Council of British Archaeology, 120 p. (Etat actuel, problèmes et projets d'avenir).

Gaudron (G.). — « Services officiels français et préhistoire », *Bull. de la Soc. préhist. française*, t. XLIVII, n. 9-10, sept.-oct. 1951, p. 418-438. (L'organisation de la préhistoire en France, l'enseignement à Paris et en province, les centres et les instituts de recherche, la législation des fouilles, les publications spécialisées, les musées et la conservation des gisements.)

Guyan (W.-U.). — « Naturwissenschaft und Urgeschichte », *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Urgeschichte*, t. XXXVII, 1946, p. 99-110 (Vue d'ensemble sur l'application en Suisse de méthodes scientifiques à la préhistoire. Nombreuses références bibliographiques).

Lantier (R.). — *Tendances nouvelles en Archéologie*, Acad. des Ins. et B.-L., séance du 21 nov. 1947, 11 p., et diverses notes et études dans *Gallia*.

Movius, Hallam (L.). — « Old World Palaeolithic Archaeology », *Bull. of the Geological Society of America*, vol. 60, sept. 1949, p. 1443-1446 (bibliographie).

Taylor (W.-W.). — « A Study of Archaeology », *American Anthropologist*, vol. 50, juillet 1948, n. 3, 2e partie. Mémoire n. 69, 256 p. Bibliographie.

III. — Sur les questions de statistiques et de mensurations appliquées à l'outillage préhistorique, on peut consulter :

Barnes (Alfred S.). — « De la manière dont la nature imite le travail humain dans l'éclatement du silex », *Bull. de la Soc. Préhist. Franç.*, t. XXXVI, n° 1, 1939, p. 74-89, 7 ill., 1 tabl. — Voir : Appendice, p. 89, « Méthode de mesure de l'angle d'enlèvement ».

Barnes (Alfred S.) et Cheynier (Dr André). — « Etude sur les techniques de débitage du silex et en particulier des nucléi prismatiques », *Bull. de la Soc. Préhistor. Franç.*, t. XXXII, n° 5, 1935, p. 288-299, 8 ill. — Voir : I. Dimensions des culs de lames ou d'éclats. III. Indice de saillie du bulbe. Distance tangeante. IV. Angle d'éclatement cul-bulbe (ou angle cul-cône). V. Angle de chasse. VI. Epaisseur des lames à leurs extrémités. VII. Dimensions primitives des nuclei.

Barnes (Alfred S.) et Kidder (H. H.). — « Différentes techniques de débitage à La Ferrassie », *Bull. de la Soc. Préhist. Franç.*, t. XXXIII, 1936, p. 272-288, 9 ill., 3 tabl. — Voir : Pourcentage des bulbes en saillie et diffus ; pourc. du plan de frappe uni et à facettes sur outils et lames à bulbes en saillie ; angle de retouche.

BORDES (François). — « Principes d'une méthode d'étude des techniques de débitage et de la typologie du paléolithique ancien et moyen », *L'Anthropologie*, t. LIV, 1-2, 1950, p. 19-34, 2 ill., 2 tabl., 4 histogrammes.

GIVENCHY (Paul de). — « Mensuration des haches polies et haches polies à tranchant varié », *Bull. de la Soc. préhistorique de France*, t. VII, 1910, p.462-47, 1 ill., 1 grande pl. double en couleur.

GOODWIN (A. J. H.). — « Method in prehistory », *The South-african archaeological Society*, 1945, p. 98-100, 120-121 et 127.

JANMART (J.). — « Méthode pour le classement par rang d'âge des pierres taillées préhistoriques contenues dans les nappes de gravier des plaines alluviales », *Museu di Dundo. Subsidio para a historia arqueologia e etnografia dos povos da Lunda. Publicaçoes culturais da Companhia de diamentes de Angola.* Lisboa, n° 2, 1948, p. 47-63, 3 tabl., 2 diagr., 9 ill., bibliogr.

MALVESIN-FABRE (F.-G.). — « Essai de discrimination des bifaces abbevilliens et acheuléens par un indice numérique », *Bull. de la Soc. préhistor. franç.*, t. XLV, 1-2, 1948, p. 58-63, 2 ill., 3 diagr. — A aussi été publié en extrait sous le titre suivant : « Un indice numérique pour la discrimination des bifaces abbevilliens et acheuléens ». Le Mans, Monnoyer, 1948, p. 58-63.

MYERS (Oliver H.). — *Some applications of statistices to archaeology.* Le Caire, Service des Antiquités de l'Egypte, Government Press, 1950, 37 p., 19 pl.

On trouvera une bibliographie olus complète de cette question au C. D. R. P., établie par A. HAMARD.

PROBLÈMES DE DÉTECTION

Il n'existe pas d'ouvrage ou d'étude importante traitant dans leur ensemble des problèmes de détection archéologique et de leur récent développement. Cependant la plupart des manuels de fouille consacrent quelques pages à ces questions (prospection géographique et géologique, photographie aérienne surtout).

BANDI (H.-G.). — « Archäologische Erforschung des zukünftigen Staugebietes Rossens-Broc », 36 *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Urgeschichte*, 1945, p. 100-106, 3 photos (Prospection rapide d'une région devant être détruite par la construction d'un barrage à l'aide de la photo aérienne, de la méthode des phosphates et de la détection électro-magnétique ; résultats pratiquement nuls pour les deux dernières méthodes).

CLARK (G.). — *Archaeology and Society*, 2e édition 1947 (Le chapitre II, p. 13-49 est consacré aux problèmes de prospection).

XXX. — *La technique des fouilles*, Mouseion, XIIIe année, vol. 45-46, n. I-II, 1939, p. 5-231, 7 fig. (un chapitre p. 27-45 est consacré aux méthodes de prospection avec quelques notes sur l'archéologie sous-marine).

DU MESNIL DU BUISSON. — *La technique des fouilles archéologiques*, Paris, Geuthner, 1934 (Chap. IV, p. 77-108 : Les I dices).

CHAPITRE PREMIER

LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE (p. 45-58).

Notes bibliographiques :

BANDI (H.-G.). — « Luftbild und Vorgeschichte », 33e *Annuaire de la Société suisse de préhistoire*, 1942, p. 145-154.

CHOMBART DE LAUWE (P.). — *La découverte aérienne du Monde*, Paris, Horizons de France, 1948, 413 p.

— *Photographies aériennes. Méthode. Procédés. Interprétation. L'étude de l'homme sur la terre*, Paris, A. Colin, 1951, 140 p., 118 fig.

— *Essai bibliographique sur la découverte aérienne* (à paraître).

CRAWFORD (O. G. S.). — « Air survey and archaeology », *Geographical Journal*, LXI, mai 1923.

— *Air-photography for archaeologists*. Ordnance survey professional papers, n. s., n° 12, Southampton, 1929.

HANSA LUFTBILD (G.m.b.h.). — *Luftbild und Vorgeschichte*, Berlin, 1938.

Outre ces ouvrages généraux sur la photographie aérienne, on consultera les belles monographies de POIDEBARD, BARADEZ, etc. dont on trouvera la bibliographie au chapitre I.

Centres de documentation et organisation des recherches :

Les recherches sont surtout développées en Angleterre. La magnifique collection de photographies aériennes prise par le Major Allen se trouve à l'Ashmolean Museum à Oxford, qui peut fournir des reproductions. Il s'agit essentiellement de vues isolées à grande échelle centrées sur un site intéressant. L'Angleterre a par ailleurs entrepris depuis la guerre la réalisation d'une couverture complète au 1/10.000e de son territoire, permettant l'utilisation du stéréoscope. Bien que cette échelle soit jugée trop réduite par les archéologues anglais °, elle est néanmoins très utilisable dans la majorité des cas.

En France, existe sur un plan général pour guider la recherche le « Bureau aéronautique de la Recherche scientifique », dont le siège est à la Sorbonne, à Paris.

Plus spécialement pour les sciences humaines et l'archéologie, les chercheurs peuvent s'adresser au « Service aérien du Musée de l'Homme et des A. T. P. » dont le siège est au Musée de l'Homme, Palais de Chaillot, Paris 16e. Celui-ci possède une petite collection de photographies-types concernant entre autres la préhistoire et l'archéologie, et pourra utilement conseiller et guider les chercheurs isolés.

La France a également entrepris depuis la guerre une couverture générale du territoire métropolitain au 1/25.000e (mission Poivilliers). Tous les documents sont centralisés au « Centre de documentation photographique » de l'Institut géographique national, 2, avenue Pasteur, à Saint-Mandé (Seine). On pourra également trouver diverses missions de guerre couvrant partiellement la France, ainsi que les photographies existantes des territoires d'outre-mer. Ces documents sont accessibles, et des reproductions peuvent en être obtenues ; une autorisation spéciale est nécessaire pour leur publication. D'une façon générale, leur échelle est trop réduite pour pouvoir être utilisée avec profit dans la majorité des recherches archéologiques. Par ailleurs, on n'a pas tenu compte de la saison, dont l'importance est capitale pour permettre d'obtenir des résultats positifs en préhistoire.

Pour l'exécution de missions spéciales sur des objectifs limités, le service aérien du Musée de l'Homme pourra mettre les chercheurs en relation avec les organismes susceptibles d'exécuter celles-ci (Armée de l'Air, etc.), sans pouvoir néanmoins donner de garanties quant à leur réalisation.

Dans les territoires d'outre-mer, l'Ecole française d'Extrême-Orient, à Hanoï, utilise depuis plusieurs années la prospection aérienne avec beaucoup de succès.

En Suisse, existe un « Bureau central pour la photographie aérienne », rattaché à la Société suisse de préhistoire. Les principales recherches ont été l'œuvre de H. G. Bandi.

CHAPITRE II

MÉTHODES ÉLECTRIQUES DE PROSPECTION (p.59-70).

Notes bibliographiques :

Aucun compte-rendu détaillé n'a encore été publié sur les méthodes de prospection électrique appliquées à l'archéologie.

On peut trouver quelques détails sur la méthode des lignes équipotentielles dans :

Terra (H. de), Romero (Javier T. D. Stewart). — *Tepexpan Man*, New-York, 1949 (Viking Fund Publications in Anthropology, n. II), p. 34-37.

« Tepexpan man, a critique of method », *American Antiquity*, vol. XIV, part. I, avril 1949, p. 344-346.

Notes brèves dans l'*Anthropologie*, 1947, t. LI, p. 152-153.

Le chapitre de cet ouvrage est la première étude publiée sur les cartes de résistivités.

Pour des indications d'ordre plus technique, on consultera utilement :

Cagniard (Louis). — *La prospection géophysique*, Paris, Les Presses Universitaires de France, 1950 (Collection « La science vivante »), 203 p., 23 fig., VIII pl. Chapitre I, Généralités concernant la prospection géophysique, p. 1-50, et chapitre IV, Prospection et carottage électrique, p. 115-149.

Renseignements pratiques :

La prospection par les cartes de résistivités est actuellement pratiquée par R.J.C. Atkinson, *Department of Prehistoric Archaeology*, University of Edinburgh, et par H. J. Case, *Department of Antiquities*, Ashmoleam Museum, University of Oxford.

Pour dresser des cartes de résistivité, il est utile, mais non indispensable de posséder quelques notions d'électricité et de géologie. Le maniement de l'appareil cependant est extrêmement simple et peut être mené à bien par toute personne capable de comprendre un simple circuit électrique. L'interprétation des courbes, qui est la partie la plus difficile de la technique, est purement empirique, et demande de l'expérience beaucoup plus que des connaissances théoriques.

L'appareil utilisé en Angleterre (pl. I) est un « Megger » Earth Tester, Low Resistance Model, fabriqué par Messrs. Evershed et Vignoles, Acton Lane Works, Chiswick, Londres, W. 4. Son prix est de 65 livres sterling, non compris le pied, les électrodes, les fils et les bobines, tous articles qu'il est d'ailleurs facile de se procurer indépendamment.

M. R. J. C. Atkinson donnera toutes indications utiles à ceux qui le désireraient sur le commutateur spécial conçu par lui.

CHAPITRE III

LE DÉTECTEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE (p. 71-75).

Notes bibliographiques :

Presque rien n'a été publié sur les expériences de prospection à l'aide du détecteur de mines ; seuls les essais faits en Suisse ont fait l'objet de brefs comptes rendus (voir l'article de H. G. Bandi cité p. 73).

Sur les expériences faites en Angleterre, on peut consulter les notes de A. D. Passmore, *Antiquaries Journal*, X, 1930, p. 389 et de R. J. C. Atkinson, *Field Archaeology*, Londres 1946, p. 219. Parmi les expériences faites en France, seules celles de E. Salin ont donné lieu à une courte note dans son *Manuel de Fouilles Archéologiques*, Paris, 1946, p. 14-15.

En 1946, M. R. L. S. Bruce-Mitford, du British Museum, procéda en laboratoire à une série d'expériences de détection sur des objets archéologiques en bronze, fer, argent ou or de formes et de poids variés. Il s'agissait de déterminer la distance à laquelle chaque catégorie d'objets était détectée. Nous avons eu connaissance de ces expériences trop tard pour en faire état dans le texte du chapitre III. On peut consulter au C. D. R. P. les tableaux des résultats obtenus, aimablement communiqués par M. Bruce-Mitford.

Sur les détecteurs de mines en général, indépendamment de toute considération archéologique, on peut consulter :

Violet (André). — « Mine Detectors and Mine Disposal in France » dans *Electrical Communication*, vol. XXV, n. 1, mars 1948, p. 10-20. (Les différents types, schémas de montage, etc.).

Renseignements pratiques :

Les expériences faites en France par MM. du Mesnil du Buisson et G. Mathérat à Senlis, par M. M. Orbec à Tonnerre, par M. Salin dans l'Est de la France par MM. R. J. C. Atkinson et R. L. S. Bruce-Mitford en Angleterre, par MM. H. G. Bandi et K. Keller-Tarnuzzer en Suisse, n'ont pas été poursuivies. Nulle part l'utilisation du détecteur de mines n'est devenue courante, malgré des résultats quelquefois encourageants.

A la suite des expériences de Senlis, le Ministère de la Reconstruction a remis à des sociétés archéologiques une douzaine de détecteurs de petit modèle. D'autre part, on peut facilement se procurer des détecteurs portatifs d'occasion soit de fabrication française (Sté L. M. T.), soit de fabrication américaine (SCR-625). Ces derniers sont d'une qualité un peu supérieure et coûtent environ 5.000 francs. Leur maniement

est facile. Une notice jointe à chaque appareil donne toutes les indications nécessaires pour son emploi. Pour des cas spéciaux où un détecteur à grande profondeur serait nécessaire, il faudrait s'adresser au service public compétent le plus proche du site archéologique ou au Centre de Recherches Scientifiques, Industrielles et Maritimes de Marseille.

LE MILIEU PRÉHISTORIQUE

I. — La *Geological Society of America* a consacré un numéro spécial de son bulletin aux recherches sur le Pléistocène. On y trouve une série d'études accompagnées de bibliographies importantes sur la glaciologie (H. Bader), sur la paléontologie des vertébrés en Amérique du Nord (C. W. Hibbard), sur l'érosion glaciaire et la sédimentation (C. D. Holmes), sur la climatologie (H. Landsberg), sur l'archéologie de l'Ancien Monde (H. L. Movius), sur la géologie sous-marine (F. B. Phleger), sur les problèmes de la stratigraphie du Pléistocène et sur la glaciation alpine (L. L. Ray), sur les effets physiques des variations climatiques pléistocènes dans les régions voisines des glaciers (H. T. U. Smith), sur les relations entre la géologie du Pléistocène et la pédologie (J. Thorp), et une très importante étude de J. S. Deevey sur la biogéographie du Pléistocène :

Deevey (E. S.). — « Biogeography of the Pleistocène », Part. I : Europe and North America, *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 60, septembre 1949, p. 1316-1416, 27 fig., 1 tabl. chronologique hors-texte. Bibliographie (Les problèmes de la répartition des animaux et des plantes en Europe et en Amérique du Nord au cours du Pléistocène).

Zeuner (F. E.). — *The Pleistocene Period : Its climate, chronology and faunal succession*, Londres, Ray Society, 1945, 322 p. fig. Bibliographie.

II. — Parmi les études récentes centrées sur les problèmes de géographie humaine préhistorique, on peut citer :

Fox (Sir Cyril). — *The personnality of Britain, its influence on inhabitants and invader in prehistoric and early historic times*, Cardiff, National Museum of Wales, 1947 (4e éd.), 99 p., XII pl., 40 fig. dont de nombreuses cartes de répartition, 3 cartes h. t. en couleur. (Etude systématique de l'influence de la position, de la structure, du climat, de la faune et de la flore d'un pays sur ses habitants. Répartition et évolution de la population de l'Angleterre aux temps préhistoriques.)

Guillien (Y.). — « Le paléolithique charentais. Essai paléogéographique », *Bull. de la Soc. Préhist. Franç.*, t. XL, 1943, p. 41-58.

Gauer (C. O.). — « Early relations of Man to plants », *Geographical Review*, vol. XXXVII, p. 1-25.

Steensberg (Axel). — *Ancient harvesting implements, a study in archaeology and human geography*, Copenhague, thèse, 1943, 275 p., 80 fig., 6 tabl., 13 pl.

On trouvera aussi de nombreuses indications dans la collection de Géographie Humaine de Gallimard, dirigée par Pierre Deffontaines (*L'Homme et le Vent*, par Aubert de la Rue ; *L'Homme et la Montagne*, par J. Blache ; *L'Homme et le Sol*, par H. Prat, etc.).

III. — L'étude du milieu a pris une telle importance en préhistoire, qu'elle a justifié dans certains pays la fondation de chaire spéciale. En Angleterre, par exemple, l'Institut d'Archéologie de l'Université de Londres comprend un département d'« Environmental Archaeology », dirigé par le Pr F. E. Zeuner et dont dépendent les enseignements ou les laboratoires de géologie, paléontologie quaternaire, chronologie astronomique et absolue, etc.

CHAPITRE IV

L'ÉTUDE DES SÉDIMENTS (p. 85-122)

Notes bibliographiques :

I. — *Etudes générales. Techniques d'étude.*

BRAJNIKOV (B.), FRANCIS-BŒUF (C.) et ROMANOVSKY (V.). — *Techniques d'étude des sédiments et des eaux qui leur sont associées.* Paris, Hermann, 1943 (« Actualités Scientifiques et Industrielles », n. 952).

CAILLEUX (A.). — *Granulométrie des formations à galets.* Session extraordinaire des Sociétés Belges de Géologie. Géologie des terrains récents de l'Ouest de l'Europe, Bruxelles, 19 sept. 1946, 9-114 p., 6 ill. (Bibliographie).

— Pour l'ensemble des travaux de M. A. CAILLEUX, voir : *Analyse et critique des travaux scientifiques de M. A. Cailleux de* 1933 à 1948, Paris, 1948, 28 pages polycopiées.

DEMOLON (A.). — *Principes d'agronomie,* t. I[er], La dynamique des sols, 4[e] éd., Paris, 1948, XVIII-414 p., 120 fig., 1 pl. hors texte. Bibliographie. (Formation et évolution des sols. Milieu physique. Milieu chimique. Milieu biologique. Méthodes d'analyse des sols.)

— *La génétique des sols et ses applications,* Paris, Presses Universitaires de France, 1949, 135 p., 14 ill. et cartes (« Que sais-je ? », n. 352). Bibliographie.

ERHART (Henri). — *Traité de Pédologie,* Strasbourg, Institut pédologique, 1935, 260 p., graphiques, 8 pl. h. texte en couleur.

GESSNER (H.). — *L'analyse mécanique. Tamisage. Sédimentation. Lévigation,* Dunod, 1936, trad. de l'Allemand par J.-P. BUFFLE, XV-270 p., 107 fig.

HEINZELIN (M.-J. de). — « Revue des techniques d'études des sédiments et leur intérêt pour la géologie du Quaternaire », *Bull. Soc. Roy. Belg. Ant. et Prehist.,* t. LVII, 1946, p. 52-83.

II. — *Applications.*

ALIMEN (H.). — « Indications climatiques réparables dans les couches moustériennes de la QUINA (Charente) » dans *Sédimentation et Quaternaire,*LEDSAM, Bordeaux, 1951. Important ouvrage contenant des articles de spécialistes étrangers et français. Paru après l'impression du chapitre IV, il n'a pu être cité dans le texte.

BORDES (F.). — La thèse (non publiée actuellement) de cet auteur constitue le plus remarquable ouvrage sur les loess du Bassin Parisien.

BAUDET — « (J.). Application de méthodes scientifiques à l'étude d'un gisement préhistorique », *Bull. de la Soc. Préh. Franç.*, t. XLIV, 1947, p. 105-115.

CAILLEUX (A.). — « Application de la pétrographie sédimentaire aux recherches préhistoriques », *Bull. de la Soc. Préh. Française*, t. XLIII, 1946, p. 182-191.

FRANC DE FERRIÈRE (J.). — *Géologie et pédologie. Contribution à l'étude des formations quaternaires de la plaine d'Alsace.* Strasbourg, Imprimerie Alsacienne, 1937, 157 p., 24 ill. et schémas, XVI pl. h. t., XXV tabl. (Bibliographie de 150 titres).

KOBY (F.). — « Remarques sur la chronologie du sol des cavernes », *Archives Suisses d'Anthropologie Générale*, XII, 1946, p. 22-38. (Stratigraphie et granulométrie.)

LAIS (Robert). — « Uber Höhlensedimente », *Quartar*, t. III, 1, 1941, p. 56-108, 8 fig. (Etude très importante dont on trouve une longue analyse par R. VAUFREY dans *L'Anthropologie*, t. LIII, n. 1-2, 1949, p. 159-167, 1 fig.)

Cette bibliographie sommaire est en partie extraite d'une documentation beaucoup plus complète, établie par M. A. HAMARD et que l'on peut consulter au C.D.R.P.

Laboratoires :

Parmi les laboratoires français spécialisés dans l'étude des sédiments, on peut citer :

— Laboratoire de géologie dynamique de la Sorbonne. (Professeur J. BOURCART, étude générale des sédiments.)

— Laboratoire de géologie de l'Ecole Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm, Paris (Ve). (Professeur RIVIÈRE, particulièrement étude aux Rayons X.)

— Laboratoire de l'Institut de Paléontologie Humaine, 1, rue René-Panhard, Paris (XIIIe). (Professeur R. VAUFREY.)

— Laboratoire d'étude des sédiments quaternaires du C.D.R.P., Musée de l'Homme, Paris. (J. BAUDET.)

— Laboratoires de l'Institut Français d'Afrique Noire (I. F. A. N.), Dakar.

CHAPITRE V

L'ÉTUDE DES VESTIGES ZOOLOGIQUES (p. 123-150)

Il n'existe pas d'ouvrage fondamental utilisable pour l'identification des vestiges zoologiques. Une collection anatomique étalonnée est absolument indispensable, même au spécialiste, pour toute identification sérieuse. De telles collections existent dans toutes les universités française et étrangères. Signalons seulement à Paris, les collections du Muséum d'Histoire Naturelle (Laboratoires d'Anatomie comparée et de Mammalogie, 55, rue Buffon, et Laboratoire de Paléontologie, 2, rue Buffon), et celles de l'Institut de Paléontologie humaine, 1, rue René Panhard. Le laboratoire du Dr Henri Martin, à La Quina, Villebois-la-Vallette (Charente), renferme également une très remarquable collection constituée spécialement pour l'étude des vestiges osseux d'époque paléolithique.

Le manuel général le plus utile reste celui de Boule et Piveteau.

BOULE (M.) et PIVETEAU (J.). — *Les Fossiles, éléments de Paléontologie*, Paris, Masson et Cie, 1935, in-8°, VI-900 p., fig.

Pour tous ces renseignements bibliographiques concernant les vestiges et les microvestiges zoologiques, on pourra consulter les importants fichiers du Centre d'Etudes et de Documentation Paléontologiques, 3, place Valhubert, Paris (Ve). (Directeur, M. ROGER.)

CHAPITRE VI

L'ÉTUDE DE LA FLORE (p. 151-173)

Notes bibliographiques :

I. — *Méthodes.*

BARKLEY (F. A.). - 1934 : « The statistic theory of pollen analysis » (*Ecology*, vol. XV).

ERDTMAN (G.). — 1936 *a* : « New methods in pollen analysis » (*Svensk Bot. Tidskr.*, vol. XXX).

— 1936 *b* : « Neus pollenanalytische Untersuchungsmethoden » (*Ber. Geobot. Inst. Rübel Zürich f.* 1935, pp. 38-46).

— 1939 : « Pollen-och sportyper i Sveriges kvartära lagerföljder » (*Västeras*, Suède, 7 p., 68 fig.).

— 1943 : « An Introduction to Pollen analysis » (*Chronica Botanica*, U. S. A., 228 p., 28 pl.). Bibliographie abondante, 488 fig. de pollens et spores.

— 1927-1945 : « Literature on Pollen statistics and related topics » (*Geologiska För. i Stockholm Förhandl.*, vol. XLIX à LXVII, 9 notes).

— 1947-1948 : « Literature on Palynology », X et XI (*id.*, vol. LXIX, pp. 24-40 ; vol. LXX, pp. 295-328).

FIRBAS (F.). — 1937 : « Der pollenanalytische Nachweis des Getreidebaus » (*Zeitschr. f. Bot.*, XXXI, pp. 447-478).

HORMANN (H.). — 1929 : « Die pollenanalytische Unterscheidung von *Pinus montana, P. sylvestris* und *P. Cembra* » (*Oesterr. Bot. Zeitschr.*, LXXVIII).

JAESCHKE (J.). — 1935 : « Zur Frage der Artdiagnose der *Pinus silvestris, P. montana* und *P. Cembra* durch variationsstatistische Pollenmessungen » (*Beih. Bot. Centralbl.*, LII B).

KNOX (A. S.). — 1942 : « The use of bromoform in the separation of non-calcareous microfossils » (*Science*, n. s., LXXXXV, pp. 307-308).

LUDI (W.). — 1949 : « Beitrag zur Kenntnis der Salix-und Artemisia Pollen » (*Ber. Geobot. Inst. Rübel Zürich f.* 1949, pp. 38-46).

MC CULLOCH. — 1939 : « A postglacial forest in central New York » (*Ecology*, XX).

MEINKE (H.). — 1927 : « Atlas und Bestimmungsschlüssel zur Pollenanalytik » (*Bot. Arch.*, XIX, pp. 380-449).

MULLER (I.). — 1947 : « Der pollenanalytische Nachweis der menschlichen Besiedlung im Federsee und Bodenseegebiet » (*Planta*, XXXV, pp. 70-88).

SZAFER (W.). — 1935 : « The significance of isopollen lines for the investigation of the geographical distribution of trees in the postglacial periods » (*Bull. Ac. Pol. Sc. Lettres*, B, pp. 235-239, 2 pl.).

WODEHOUSE (R. P.). — 1935 : *Pollen grains. Their structure, identification and significance in Science and Medicine* (Mc Graw Hill, New York). Nombreuses figures.

II. — *Ouvrages et articles généraux.*

BEHRMANN. — 1943 : « Die Vorgeschichte Nordwestdeutschlands » (*Geogr. Zeitschr.*, pp. 65-79).

CAMPO (M. van). — 1947 : « Derniers résultats de l'analyse pollinique des tourbes en France » *(L'Anthropologie*, LI, pp. 137-141*)*.

DUBOIS (G.). — 1932 : « L'analyse pollinique des tourbes et son application à l'étude du Quaternaire et de la Préhistoire » (*l'Anthropologie*, XLII, pp. 269-289).

— 1939 : « L'analyse pollinique et son application à l'étude du peuplement forestier des montagnes de l'Europe occidentale » (*Rev. Géogr. alpine*, XXVII, pp. 591-624).

— 1946 : « Connaissance actuelle de l'histoire du peuplement forestier des montagnes françaises » (*id.*, XXXIV, pp. 57-68).

— 1945 : « Les analyses polliniques et la phytogéographie en France » (*Ass. fr. Av. Sc.*, Congr. de Paris, pp. 606-622). Bibliographie française complète jusqu'en 1945.

— 1948 : « Pollen analysis of post-glacial peats and deposits in France for the period 1939-1946 » (*Vegetatio*, I, pp. 43-50, carte).

— 1947 : « L'évolution de la silve postglaciaire en Europe occidentale » (*Sess. extr. Soc. belges de Géologie*, sept. 1946, pp. 265-278).

ERDTMAN (G.). — 1943 : voir *Méthodes*.

FIRBAS (F.). — 1935 : « Die Vegetationsentwicklung des mitteleuropäischen Spätglazials » (*Bibliotheca Botanica*, CXII, p. 68, cartes).

— 1939 : « Vegetationsentwicklung und Klimawandel in der mitteleuropäischen Spät- und Nacheiszeit » (*Naturwissenschaften*, XXVII, pp. 81-89, 104-108).

— 1949 : « Systematische und genetische Pflanzengeographie » (*Fortsch. d. Bot.*, XII, pp. 86-130). Abondante bibl. depuis 1940.

— 1949 : *Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen*. « Allgemeine Waldgeschichte » (G. Fischer, Iena, 480 p., 163 fig.).

FIRTION. — « Contribution à l'étude paléontologique, stratigraphique et physicochimique des Tourbières du Jura français » (*Mém. Serv. Carte géol. d'Alsace-Lorraine*, n. 10, 1950, 92 pp., 1 carte, 4 pl. h. t.).

GAMS (H.). — 1938 : « Die bisherigen Ergebnisse der Mikrostratigraphie für die Gliederung der letzten Eiszeit und des Jungpaläolithikums in Mittel- und Nordeuropa » (*Quartär*, I, pp. 75-96).

GODWIN (H.). — 1934 : « Pollen analysis. An outline of the problems and potentialities of the method » (*New Phytol.*, XXXIII, pp. 278-305 et 325-358).

— 1940 : « Pollen analysis and forest history of England and Wales » (*id.*, XXXIX, pp. 370-400).

— 1941 : « Pollen analysis and Quaternary Geology » (*Proc. Geol. Assoc.*, LII, pp. 328-351).

— 1946 : « The relationship of bog stratigraphy to climatic change and archeology » (*Proc. Prehist. Soc.*, n. s., XII, p. 1).

GRITSCHUK (W. P.). — 1946 : *Trans. Inst. Géogr. Acad. Sc. U.S.S.R.*, XXXVII, pp. 249-266.

IVERSEN (J.). — 1949 : « The influence of prehistoric man on vegetation » (*Danm. Geol. Unders.*, p. 1-25, Copenhague).

LEMÉE (G.). — 1948 : « La méthode de l'analyse pollinique et ses apports à la connaissance des temps quaternaires» (*Année Biol.*, XXIV, pp. 49-75).

MOVIUS (H. L.). — 1942 : *The Irish Stone age* (Cambridge Univ. Press, 339 p.).

NILSSON (T.). — 1948 : « Versuch einer Anknüpfung der postglazialen Entwicklung des nordwestdeutschen und niedemländischen Flachlandes an die pollenfloristische Zonengliederung Südskandinaviens » (*Lunds Univers. Arsskr.*, XLIV, 79 p.).

POST (von L.). — 1946 : « The prospect for pollenanalysis in the study of the Earth's climatic History » (*New Phytol.*, XLV, pp. 193-218).

Laboratoires :

Un chercheur habitué à l'observation au microscope peut assez rapidement s'initier à l'étude des pollens, mais les analyses polliniques demandent toujours beaucoup de temps et de patience. Il existe dans tous les pays d'Europe et d'Amérique du Nord des laboratoires spécialisés dans ces études, où une collaboration avec des préhistoriens est certainement recherchée.

Le prélèvement des échantillons peut être fait par un non-spécialiste, à la condition que les précautions indiquées au début du chapitre soient rigoureusement prises ; mais il est préférable de laisser ce soin au pollen-analyste chaque fois qu'il est possible de le faire.

Voici une liste de laboratoires pratiquant les analyses polliniques :

Allemagne : Systematisch-Geobotanisches Institut d. Universität, *Göttingen* ; dir., Prof. F. FIRBAS.
Institut f. Landwirtschaftliche Botnik d. Universität, *Bonn*, Merkenheimer Allee 176/11 ; dir., F. OVERBECK.
Geologisches Institut d. Universität, *Kiel*, Hohenbergstr. 2 ; prof. K. GRIPP, R. SCHUTRUMPF, H. SCHMITZ.
Morrversuchsanstalt Hamnover, *Hannover*, Callinstr. 46 ; dir., S. SCHNEIDER.

Australie : R. A. OXENFORD, Geology Department, University of *Sidney*, N. S. W.

Autriche : Prof. H. GAMS, *Innsbrück*.

Belgique : Laboratoire de Paléobotanique de l'Institut royal des Sciences naturelles, *Bruxelles* ; dir., STOCKMANS.

Danemark : Prof. K. JESSEN, Universitetets Botaniske Have, Gothersgade 140, *Copenhague*.

Etats-Unis : Stanley A. CAIN, Cranbrook Institut of Science, *Bloomfield Hills*, Michigan.
Henry P. HANSEN, Dept. of Botany, Oregon State College, *Cornvallis*, Oregon.
POTZGER, Butler University, *Indianapolis*, Indiana.
Paul B. SEARS, Dept. of Botany, Oberlin College, *Oberlin*, Ohio.

France : Institut de Géologie et Paléontologie de la Faculté des Sciences de *Strasbourg*, rue Blessig ; dir., prof. G. DUBOIS.
G. LEMÉE, Institut de Botanique de la Faculté des Sciences de *Strasbourg*, 7, rue de l'Université.

Grande-Bretagne : Prof. H. GODWIN, Subdepartment of Quaternary Research, University of *Cambridge*.
Dr K. B. BLACKBURN, Department of Botany, King's College, *Newcastle u. Tyne*.
Miss A. CONOLLY, Botany Department, University College, *Leicester*.
H. A. HYDE, Department of Botany, National Museum of Wales, *Cardiff*.

Hollande : Musée botanique de l'Université d'*Utrecht*.
Dr F. FLORSCHUTZ, à *Velp*.

Irlande : Dr G. F. MITCHELL, 23, Trinity College, *Dublin*.

Italie : Institut botanique de l'Université de *Pise* ; prof. Alberto CHIARUGI (dir.) et Ezio TONGIORNI.
Dott. Fausto LONA, Institut botanique de *Milan* (dir. S. TONZIG).

Suède : G. ERDTMAN, Abrahamsbergwägen 15, Abrahamsberg, *Stockholm*, V a.

Suisse : Geobotanische Forschungsinstitut Rübel, Zürichbergstr. 38, *Zürich*-44 ; dir., W. LUDI.

LE CADRE CHRONOLOGIQUE

On trouvera des renseignements très complets sur les méthodes de datation du passé dans :

FLINT (R. F.). — *Glacial Geology and the Pleistocene Epoch*, New York, John Wiley and Sons, Inc., 1947 (p. 379-406, revue des différentes méthodes géologiques de datation absolue).

GEER (G. de). — *Geochronologia Suecica. Principles.* Stockholm, 1940, 360 p., 65 fig., 53 pl. et un atlas de 37 pl. (On trouve dans *l'Anthropologie*, t. 52, 194, p. 108-113, une longue analyse de cet ouvrage).

ZEUNER (F. E.). — *Dating the Past. An introduction to geochronology.* Londres, Methuen, 1950 (2e éd.), 474 p., 103 diagrammes, 24 pl. Très abondante bibliographie (Essentiel).

CHAPITRE VII

L'ANALYSE DES CERCLES DE CROISSANCE (p. 187-197)

Notes bibliographiques :

DOUGLASS (A. E.). — *Climatic Cycles and Tree Growth.* Publication n. 289, vol. I. Carnegie Institution of Washington, 1928.

— *Climatic Cycles and Tree Growth.* Publication n. 289. Carnegie Institution of Washington, 1936.

GLADWIN (H. S.). — « Tree Ring Analysis, Methods of Correlation ». *Medallion Papers*, n. XXVIII, déc. 1940, 63 p. Nombreux tableaux et graphiques. (Essais pour améliorer la méthode.)

GLOCK (W. S.). — *Principles and Methods of Tree-Ring Analysis.* Publication n. 486, 1937. Carnegie Institution of Washington, 100 p., 44 fig., 14 pl. Bibliographie. (Très bon ouvrage d'initiation à l'étude des cercles de croissance.)

LYON (C. J.) et GOLDTHWAIT (J. W.). — *An attempt to cross-date trees in drowned Forests.* The Geographical Review, vol. XXIV, n. 4, 1934, p. 605-614.

STALLINGS (W. S.). — *Dating Prehistoric Ruins by Tree-Rings.* General Series, Bull. n. 8, Laboratory of Anthropology, Santa Fé, 1939, 20 p. (Introduction à la méthode et bibliographie.)

ZEUNER (F. E.). — *Dating the Past. An introduction to geochronology.* Londres, Methuen, 1949 (2e édit.), 444 p., 103 diagrammes, 24 pl. (Le chap. Ier, p. 6-19 est consacré à la dendrochronologie. Bibliographie).

Consulter aussi la collection des « Tree-Ring Bulletin » Museum of Northern Arizona (Flagstaff), et celle des « Medallion Papers » (Gilla Pueblo, Globe, Arizona).

CHAPITRE VIII

LA DATATION DES OS FOSSILES PAR LEUR TENEUR EN FLUOR (p.199-203)

Notes bibliographiques :

CARNOT (A.). — « Sur une application de l'analyse chimique pour fixer l'âge d'ossements humains préhistoriques », *C. R. Acad. Sc.*, 115, 1892, p. 337-339.

— « Recherches sur la composition générale et la teneur en fluor des os modernes et des os fossiles des différents âges », *Annales des Mines*, Série IX, Mémoires, t. III, p. 155-195, 1893.

FOURCROY (A.-F.) et VAUQUELIN (L.-N.). — « Recherches faites sur l'ivoire frais, sur l'ivoire fossile et sur l'émail des dents pour rechercher si ses substances contiennent de l'acide fluorique », *Annales de Chimie*, t. LVII, 1806, p. 37-44.

MIDDLETON (J.). — « On Fluorine in Bones, its source, and its application to the determination of the geological age of Fossil Bones », *Proceedings of the Geological Society of London*, vol. IV, 1844, p. 431-433.

MILTON (R. F.), LIDDELL (H. F.) et CHIVERS (J. E.). — « A new Titrimetric Method for the Estimation of Fluorine », *The Analyst*, vol. LXXII, 1947, p. 43-47.

OAKLEY (K. P.). — « Fluorine and the Relative Dating of Bones », *Advancment of Science*, London, 1948, 4, p. 336-337.

OAKLEY (K. P.) et MONTAGU (M. F. Ashley). — « A reconsideration of the Galley Hill Skeleton », *Bull. British Museum* (*Natural History*), *Geological series*, 1949, vol. I, nº 2, p. 27-46.

OAKLEY (K. P.) et HOSKINS (C. R.). — « New Evidence on the Antiquity of Piltdown Man », *Nature*, vol. CLXV, 11 mars 1950, p. 379-382.

— « Application du Test de la Fluorine aux crânes de Fontechevade », *L'Anthropologie*, t. LV, 1951, p. 239-242.

WILLARD (H. H.) et WINTER (O. B.). — « Volumetric Method for Determination of Fluorine », *Industrial and Engineering Chemistry* (Analytical Edition), 1933, vol. V, p. 7-10.

Renseignements pratiques :

La détermination de la teneur en fluor d'un échantillon de petite taille est une tâche difficile, demandant beaucoup de dextérité et qui ne peut être entreprise que par un chimiste expérimenté travaillant dans un laboratoire bien équipé. La méthode adoptée au Government Laboratory de Londres était basée sur celle décrite par WILLARD et WINTER (1933). Le fluor est extrait de l'échantillon par distillation avec de l'acide perchlorique, et le distillat est titré colorimétriquement par une

solution de nitrate de Thorium. La méthode décrite par MILTON, LIDDELL et CHIVERS (1947) peut également être utilisée. Il faut alors déterminer le contenu en phosphate (P^2O^5) de tous les échantillons, pour s'assurer qu'une teneur minime en fluor n'est pas due à une contamination grossière ou à une altération des ossements. Pour quelques sites le rapport du pourcentage du fluor à celui du phosphate forme une base de comparaison plus utile que le pourcentage du fluor.

Il existe au Collège de France (place Marcellin-Berthelot, Paris) un Laboratoire de biochimie générale et comparée (Dr Paul Pin) qui s'occupe des problèmes d'ossification. Une section spécialisée dans l'étude physico-chimique des os fossiles est en projet.

Signalons aussi que, à côté de la datation des ossements préhistoriques par leur analyse chimique sur laquelle on trouvera au C. D. R. P. des renseignements bibliographiques, on vient d'entreprendre leur étude par diffraction des Rayons X.

ESCALON de FONTON (M.), MICHAUD (R.) et PÉRINET (G.). — « Étude par diffraction des rayons X de la fossilisation d'ossements préhistoriques. Premiers résultats de la détermination de l'âge d'ossements préhistoriques par les spectres de diffraction X. » *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences*, T. 233, 24 sept. 1951, p. 706-707.

CHAPITRE IX

LE C^{14} (p. 205-217)

Notes bibliographiques :

Les principales études parues sur le C^{14} et citées au cours du chapitre IX sont de caractère technique pour la plupart. Nous indiquons dans ces notes quelques brèves études parues récemment dans des revues facilement accessibles aux préhistoriens et aux archéologues, et les articles dans lesquels ont été publiés les premiers résultats et les premières dates obtenues :

ARNOLD (J. R.) and LIBBY (W. F.). — « Radiocarbon Dates », *Science*, vol. CXIII, n. 2927, 1951, pp. 111-120.

FLINT (R. F.) and DEEVEY (E. S., Jr.). — « Radiocarbon Dating of Late-Pleistocene Events », *American Journal of Science*, vol. CCIXL, 1951, pp. 257-300.

GODWIN (H.). — « Comments on Radiocarbon Dating for Samples from the British Isles », *American Journal of Science*, vol. CCIXL, 1951, pp. 301-307.

JOHNSON (Frederick). — « Radiocarbon Dating : A report on the Program to Aid in the Development of the Method of Dating », *Memoirs of the Society for American Archaeology*, n° 8, 1951, 65 pp.

LIBBY (W. F.). — « Radiocarbon Dates, II », *Science*, vol. CXIV, n. 2960, 1951, pp. 291-296. (Cette liste couvre la période du 1er sept. 1950 au 1er sept. 1951.)

— « Radiocarbon Dating ». Chicago, (university of Chicago Press). — 1952, VII + 124 pp., 11 fig. et 7 tableaux.

MOVIUS (H. L., Jr). — « Détermination de l'âge des matériaux archéologiques et géologiques d'après leur teneur en radiocarbone », *L'Anthropologie*, t. LIV, n. 1-2, 1950, pp. 175-178.

Renseignements pratiques :

Actuellement le seul laboratoire aussi bien en Europe qu'en Amérique équipé pour l'étude du C^{14} est celui du Dr LIBBY et de ses collaborateurs à Chicago[1]. Leur programme de recherches est limité pour la période à venir à des matériaux attribués à la dernière époque glaciaire ou aux tout premiers temps du Post-Glaciaire. Pour les périodes plus récentes, seuls seront examinés des échantillons d'un intérêt archéologique ou géologique fondamental et d'une importance exceptionnelle.

1. Ces lignes écrites en juin 1950, ne sont plus exactes. Une série de dates obtenues par le C^{14} ont été récemment publiées par le Lamont Geological Observatory de l'Université de Colombia (*Science*, vol. CXIV, n. 2. 970, 30 nov. 1951, p. 565-568) et un laboratoire de géochronologie a été organisé à l'Université de Yale sous la direction du Dr E. S. Deevey, Jr. D'autres laboratoires pour l'étude du C^{14} vont être installés dans les Universités de Michigan et de Pennsylvanie (28.1.52).

Actuellement le Dr LIBBY et ses associés ne sont pas à la recherche de grandes quantités d'échantillons. Ceux que l'on voudrait leur soumettre seront cependant les bienvenus sous réserve que les conditions suivantes soient scrupuleusement respectées :

1. *Aucune demande de renseignements ne doit être adressée directement au Dr* LIBBY. Tout échantillon, ou toute lettre, doit être adressé à l'un des collaborateurs suivants :

Dr Hallam L. MOVIUS, Jr, Peabody Museum, Harvard University, pour les questions concernant le Paléolithique supérieur, le Mésolithique et les périodes plus récentes d'Europe, d'Asie et d'Afrique, excepté le Proche et le Moyen-Orient.

Dr J. Robert BRAIDWOOD, Oriental Institute, Chicago University, pour les questions concernant le Proche et le Moyen-Orient y compris la région de l'Egée et celle de l'Egypte.

Dr Edward S. DEEVEY, Jr. Osborn Zoological Laboratory, Yale University, pour les questions de paléobotanique et de chronologie des pollens.

2. *Documentation.* — Un échantillon dont on ignore l'origine précise n'a naturellement aucune valeur. Tout échantillon devra toujours être accompagné d'une lettre donnant tous les détails importants (bibliographie comprise) concernant le contexte archéologique et géologique, et en particulier la stratigraphie du gisement, le moment et l'endroit de la découverte et des indications sur les questions d'ordre chronologique qui peuvent se poser à son sujet et que l'on voudrait voir résolues. Rappelons que la méthode ne pouvant avoir une précision de 200 ans, ne peut évidemment être applicable à la solution de problèmes historiques détaillés.

3. *Choix des échantillons.* — Le poids minimum nécessaire varie selon la matière à examiner. 65 grammes pour du bois ou du charbon de bois ; 200 grammes pour de la tourbe, du lignite, des graines, de la paille, des herbes ou des roseaux, des fragments de nattes, de paniers ou de vêtements, ou tout autre reste végétal de ce type ; 200 grammes également pour les restes animaux épidermiques (cuir et peau, poils et cheveux, ongles, griffes ou cornes), sauf pour les bois de cervidés pour lesquels 500 grammes sont nécessaires ; 2 kilos 200 pour les dents, l'ivoire et les os ayant subi un début de carbonisation ; 700 grammes pour les coquilles. Tous ces matériaux doivent être en bon état et non pulvérisés. Tous les échantillons sont entièrement détruits par l'étude et ne seront donc renvoyés en aucun cas.

4. *Traitement, emballage et expédition.* — Il est très important que l'échantillon n'ait subi aucun traitement d'aucune sorte et n'ait été conservé dans aucun produit chimique. Si cependant cela s'était produit, il serait nécessaire de le signaler dans la lettre. Dans certains cas l'échantillon pourrait encore être utilisable, lorsque le produit chimique utilisé est connu avec précision.

Tous les échantillons doivent être étiquetés et enveloppés séparément et les plus grandes précautions doivent être prises pour éviter toute espèce de contamination. Il est recommandé en particulier de les faire sécher dans un four avant l'expédition afin d'éviter toute moisissure ou autre phénomène biologique au cours du trajet.

Pour l'emballage on peut employer du papier, du papier métallisé ou de la cellophane. Les boîtes en métal et les pots de porcelaine ou de verre sont recommandés, mais il faut à tout prix éviter la paille, le coton et les différentes pailles de bois.

Afin de faciliter les formalités de douane, on inscrira sur chaque envoi la mention « Scientific Specimen, no commercial value ».

Important. — Avant d'envoyer un échantillon et pour éviter toute démarche inutile, il est recommandé d'écrire à l'un des collaborateurs mentionnés en donnant tous les renseignements demandés et d'attendre pour faire l'envoi la réponse de celui-ci, car il est très invraisemblable que tous les matériaux proposés cadrent avec le programme de recherches, et on sera obligé de donner un ordre de priorité à chaque échantillon reçu.

CHAPITRE X

L'AIMANTATION THERMOREMANENTE DES TERRES CUITES (p. 219-235).

Notes bibliographiques :

CHEVALLIER (R.). — Thèse de la Faculté des Sciences de Paris, et dans les *Annales de Physique*, 10e S., 4 (1925), p. 5-162. (Intéressant surtout pour l'historique des recherches sur l'aimantation des roches volcaniques. Bibliographie).

THELLIER (E.). — « Géomagnétisme dans le Passé », dans *Problèmes de Géomagnétisme*, p. 47-64. Editions de la *Revue d'Optique*, Paris, 1950. (Historique et étude d'ensemble de toutes les questions se rattachant à l'étude du champ magnétique terrestre dans le passé. Ce chapitre est traité du point de vue de la Géophysique, mais facilement accessible à un non spécialiste. Quelques indications bibliographiques.)

— *L'Aimantation des Terres Cuites et ses Applications Géophysiques*, Thèse de la Faculté des Sciences de Paris, et dans les *Annales de l'Institut de Physique du Globe*, tome XVI (1938), p. 157-302. (Mise au point de la question de l'aimantation des terres cuites avec un historique des recherches et une bibliographie).

THELLIER (E.). — « Magnétisme Terrestre et Ar;chéologie », dans l'*Anthropologie*, tome IL (1939), p. 494-496. (Brève note à propos d'une conférence faite à l'Institut Français d'Anthropologie).

THELLIER (E. et O.). — « Sur l'Intensité du Champ Magnétique Terrestre en France à l'Epoque Gallo-Romaine », dans les *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, tome CCXXII, p. 905-907, séance du 8 avril 1946. (Etude de briques provenant des Thermes de Julien à Paris et de l'amphithéâtre de Fréjus, Var). Voir aussi sur l'analyse de briques provenant du Palais Rihour à Lille. *C. R. Ac. Sc.*, 214 (1942), p. 382-384.

Etat des Recherches :

L'étude du champ magnétique terrestre dans le passé, très actif depuis quelques années, suit deux voies bien distinctes :

I. — *Etude de la thermorémanence* (ou aimantation prise au cours du refroidissement soit par des terres cuites par l'homme, soit par des roches volcaniques).

Des études sur les terres cuites par l'homme sont poursuivies à l'*Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris*, sous la direction de M. Emile THELLIER. Elles ont pour but de prolonger progressivement la connaissance du champ terrestre

en intensité et direction au delà des mesures directes. Des mesures sont en cours sur des poteries phéniciennes. Ces recherches sont les seules qui soient en rapport direct avec des préoccupations archéologiques. L'Institut poursuit aussi d'une façon accessoire des recherches sur l'aimantation des roches volcaniques (étude d'argiles métamorphiques d'Auvergne).

Des recherches sur l'aimantation des roches volcaniques sont faites en outre à l'Institut de Physique du Globe du Puy-de-Dôme (M. A. ROCHE) ;

A l'Imperial College de Londres, Angleterre (J. Mc .. BRUCKSHAW) ;

A la Tohoku Imperial University, Japon (T. NAGATA) ;

En U. R. S. S., mais on ne possède pas de renseignements précis à leur sujet.

II. — *Etude de l'aimantation des roches sédimentaires.*

Ces études qui ont d'abord porté sur les varves sont basées sur le fait que les particules tombant en eau calme sont naturellement aimantées et se posent orientées :

En Suède (G. ISING, initiateur de la méthode) ;

A la Tohoku Imperial University, Japon (T. NAGATA depuis 1942) ;

A la Carnegie Institution, Department of Terrestrial Magnetism, U. S. A., sous la direction de A. TUVE. Un groupe de chercheurs équipé d'un camion spécial et des appareils nécessaires a entrepris récemment un tour d'Amérique pour la recherche des roches sédimentaires aimantées de tous âges.

Renseignements pratiques :

Il est naturellement impossible à un préhistorien ou à un archéologue sans formation scientifique et sans laboratoire spécialisé d'entreprendre des mesures d'aimantation de terres cuites ou de roches volcaniques.

Au cas où des échantillons intéressants seraient rencontrés, il serait indispensable de se mettre en rapport avec l'Institut de Physique du Globe de Paris et de lui demander des directives. Si les nécessités de la fouille ou des travaux imposaient une destruction immédiate du site, il faudrait recueillir les échantillons en en notant exactement l'orientation, s'il s'agit d'objets demeurés dans leur position de cuisson (paroi de four, fond de foyer, lave).

M. E. THELLIER a mis au point une méthode simple de repérage de l'orientation des échantillons en place. « L'échantillon à prélever est coiffé d'un moule dans lequel on coule une masse de plâtre présentant trois plans rectangulaires bien définis dont l'un est horizontal ; après la prise du plâtre, on trace sur ce plan horizontal une direction d'azimut connu, au moyen d'une règle à éclimètre avec laquelle on vise un théodolite lui-même orienté par une visée sur le soleil. L'échantillon est ensuite détaché avec son chapeau de plâtre... » Dans la pratique, on peut improviser un petit cadre de bois fait de quelques planchettes et utiliser un niveau d'eau et une bonne boussole ; la précision sera encore suffisante. Le volume des échantillons prélevés doit être de l'ordre du décimètre cube. Il est toujours bon de prendre plusieurs échantillons sur un même site à des endroits aussi variés que possible.

Peuvent être considérés comme particulièrement intéressants tout mur de briques ou de terre cuite, four de potier, aire d'argile cuite, datés avec une précision de plus d'un siècle et antérieurs à 1400.

ÉTUDE DES VESTIGES DE L'INDUSTRIE HUMAINE

Il n'existe pas d'ouvrage général portant sur l'ensemble des procédés et techniques scientifiques récents applicables à l'identification et à l'étude des vestiges préhistoriques. Les ouvrages de E. Salin et A. France-Lanord concernent essentiellement les époques historiques, mais de nombreux renseignements et procédés sont applicables à des périodes plus anciennes.

Salin (E.) et France-Lanord (A.). — *Rhin et Orient. I. Le Haut Moyen Age en Lorraine*, par E. Salin, préface de A. Grenier, Paris, 1939, 335 p., 31 fig., XLIV pl. *II. Le fer à l'époque mérovingienne*, par E. Salin et A. France-Lanord, Paris, 1943, 292 p. 71 fig., LIII pl. Bibliographie. (Etude très complète sur la conservation et l'étude du fer, renseignements relatifs à l'étude des grains de verre, de pâte tendre et de porcelaine (I, 162-177), des vases de verre (I, p. 177-213), des poteries (I, p. 213-220), des fragments organiques conservés dans la rouille (II, p. 231-234), et un bref aperçu des « applications à l'archéologie des méthodes des laboraratoires » (I., p. 229).

— *Travaux de laboratoire*, Gallia, tome IV, 1946, p. 261-284.

D'un point de vue historique, on peut citer aussi une courte étude d'Emile Rivière, « Sur l'utilité des recherches microscopiques et de l'analyse chimique dans les études préhistoriques », parue dans le *Bull. de la Soc. Préhist. de France de* 1905, p. 146-151. Elle contient la citation de publications antérieures se rapportant à des analyses chimiques ou observations microscopiques d'ossements humains ou animaux, de matière colorante rouge, de sols, de parcelles épidermiques, de poils, de cheveux, et de résidus adhérant à la cavité d'une lampe paléolithique. Les études de cet ordre sont éparpillées dans des revues très diverses ; on en trouvera une abondante bibliographie au C. D. R. P.

R. J. Forbes a établi une bibliographie très complète de l'étude des matériaux minéraux :

R. J. Forbes. — Bibliographia Antiqua Naturalis, publiée par le Nederlandsch Institut vor het Nabije Oosten, Leiden.

1. Mining and geology : building stones, ores, other usable stones, including precious and semi-precious. — 1940.
2. Metallurgy, 1942.
3. Building materials, mortors, concretes, cements, plasters. — 1944.
4. Ceramics, glass, glazes, faïence, beads. — 1944.

L'étude des objets archéologiques par les rayons X et les rayons gamma fait l'objet de travaux importants au laboratoire du Musée du Louvre, sous la direction de Mme M. Hours. On y trouvera une bibliographie internationale de la question. Le même laboratoire a exécuté l'étude scientifique des peintures romano-égyptiennes du Louvre (rayons X, infra-rouges, ultra-violets, étude chimique). (*Les portraits romano-égyptiens du Louvre*, contribution à l'étude de la peinture dans l'antiquité, Paris, les Musées Nationaux, 1952.) Des études de même ordre pourraient être appliquées aux peintures préhistoriques.

CHAPITRE XI

L'IDENTIFICATION PÉTROGRAPHIQUE DES INSTRUMENTS DE PIERRE (p. 247-262).

Notes Bibliographiques :

KEILLER (Alexander), PIGGOTT (Stuart) et WALLIS (F. S.). — « First Report of the Sub-Committee of the South-Western Group of Museums and Art Galleries on the Petrological Identification of Stone Axes », *Proceedings of the Prehistoric Society*, VII, 1941, p. 50-72.

STONE (J. F. S.) et WALLIS (F. S.). — « The petrological Identification of Stone Axes, Second Report of the Sub-Committee of the South-Western Group of Museums and Art Galleries on the Petrological Identification of Stone Axes », *Proceedings of the Prehistoric Society*, XIII, 1947, p. 47-55 (Bibliographie).

Ces deux rapports décrivent l'ensemble du travail accompli par le Sous-Comité et contiennent des descriptions pétrographiques détaillées de toutes les roches identifiées, ainsi qu'une bibliographie complète du sujet et de ses implications archéologiques. Un troisième rapport reprenant l'ensemble de la question avec ses derniers progrès est en préparation.

Etat des études :

Le South-Western Sub-Committee est composé des membres suivants : Mr H. St. George GRAY (F.S.A.) (Chairman), Mrs E. M. CLIFFORD (F.S.A.), Mrs D. P. DOBSON-HINTON (Litt. D.) (F.S.A.), Lt-Colonel C. D. DREW (D.S.O.) (F.S.A.), Mr A. G. MADAN, Professor S. PIGGOTT (B. Litt.) (F. S. A.), Mr N. COOK (F.S.A.), Mr A. KEILLER (F.S.A.), Miss D. DUDLEY (M.A.), Dr F. S. WALLIS (D. Sc., Ph. D.) (Pétrographe), et Dr J.F.S. STONE (B.A., D. PHIL) (F.S.A.), (Secrétaire Honoraire).

Pour coordonner l'ensemble du travail accompli en Angleterre par les différents groupes, le Council for British Archaeology a nommé Secrétaire Honoraire Mr W. F. GRIMES (M. A.) (F.S.A.), Directeur du London Museum ; un don généreux fait par le Leverhulme Trust contribue aux frais.

Pour les années à venir les différents groupes régionaux continueront l'examen des haches de leurs régions respectives et il ne semble pas possible qu'ils entreprennent l'examen de spécimens provenant d'autres régions ou d'autres pays. La quantité de matériel qui serait à étudier réclame, dans la mesure où il serait possible de trouver des pétrographes acceptant d'entreprendre ce travail, l'organisation de groupes semblables en France, en Irlande et en Ecosse.

Office de Documentation sur les Monuments Historiques.

Il faut signaler aussi ici l'existence de l'Office de Documentation sur les Monuments historiques (Palais de Chaillot, Paris), dont les activités sont orientées vers des buts très différents mais dont les documents pourraient accidentellement être utiles aux préhistoriens et surtout aux archéologues.

Cet Office, dirigé par M. Paul DESCHAMPS, membre de l'Institut, et par M. S. BERTHELLIER, sous-directeur, a entrepris une série de recherches sur l'identification des matériaux de construction des monuments anciens et sur l'identification des pierres et des marbres des statues anciennes.

Une collection d'environ 500 échantillons provenant soit de carrières anciennes, soit de pierres de dépose des monuments, a été constituée, complétée pour un certain nombre par une série des lames minces correspondantes. Des fichiers ont été établis, l'un par monument, indiquant la provenance des matériaux employés, l'autre par carrière. L'Office s'occupe en outre de tout ce qui concerne l'altération des matériaux, en liaison avec le Laboratoire de Géologie appliquée de la Sorbonne et l'Institut Pasteur. Les résultats des travaux n'ont fait l'objet d'aucune publication particulière, mais sont consignés sur les rapports administratifs du Service de l'Architecture, Bureau de la Documentation, 3, rue de Valois, Paris.

CHAPITRE XII

LES MICROORGANISMES DES SILEX (p. 263-267)

Notes bibliographiques :

I. — *Sur les microorganismes des silex.*

DEFLANDRE (Georges). — « Microfossiles des silex crétacés », *Annales de Paléontologie*, XXV, 1936, p. 151-191, 10 pl., et XXVI, 1937, p. 51-103, 8 pl.

— « Les microfossiles de la craie et du silex », *La Nature*, n. 3010, 1937, p. 314-320, 17 fig.

— « L'étude micropaléontologique des silex », *Sciences Naturelles*, I, 1939, p. 259-264, 24 fig. (avec quelques notes sur les applications possibles à la préhistoire).

— *La vie créatrice des roches. Le rôle bâtisseur des êtres microscopiques et la genèse des houilles et des pétroles.* Coll. Que sais-je ?, Paris, Presses Universitaires de France, 1941, 128 p., 24 fig. Chap. IV, Le Silex, p. 51-61.

— « Sur quelques microorganismes planctoniques des silex jurassiques », *Bull. de l'Institut Océanographique*, n. 921, 1947, 12 p., 23 fig.

WETZEL (O.). — « Die inorganischer Substanz erhaltenen Microfossilien des baltischen Feuersteins, mit einem sediment-petrographischen und stratigraphischen Anhang », *Palaeontographica*, t. LXXVII et t. LXXVIII, 1933, 156 p., 7 pl.

— « Mikropaläontologische Untersuchungen an Baltischen Feuerstein », *Quartär*, III, 1941, p. 121-131.

II. — *Sur les techniques de préparation et d'observation.*

DEFLANDRE (Georges). — « Technique micropaléontologique appliquée à l'étude des silex », *Bull. de la Soc. Française de Microscopie*, IV, 1935, p. 104-111.

— « Microscopie pratique. Le microscope et ses applications. La faune et la flore microscopiques des eaux. Les microfossiles ». Nouvelle éd. Paris, Lechevalier, 1947. *Encycl. pratique du naturaliste*, XXV, 441 p., 138 pl. noires, 20 pl. couleur.

III. — *Applications à des problèmes d'ordre archéologique.*

BIGOT (A.). — « Notes de géologie normande. XLIII, Origine des silex des stations préhistoriques de Soumont (La Brèche au Diable) et d'Olendon (Calvados) », *Bull. de la Soc. Linnéenne de Normandie*, 9e série, tome VI, 1949-1950, p. 62-63.

Laboratoire.

Le Laboratoire de Micropaléontologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes a son siège 105, boul. Raspail, Paris 6e. Son Directeur est M. Georges DEFLANDRE. Il n'existe pas d'autre laboratoire en France s'occupant des microorganismes des silex.

CHAPITRE XIII

L'ÉTUDE DE LA POTERIE (p. 269-279)

Notes bibliographiques :

I. — *Ouvrages Généraux.*

FRANCHET (L.). — *Céramique primitive. Introduction à l'étude de la technologie.* Paris, Geuthner, 1911, 150 p.

ROSENTHAL (E.). — *Pottery and Ceramics*, Londres, Pelican Books, 1949, 304 p.

SALMANG (H.). — *La céramique du point de vue physique et chimique*, Paris, Dunod, 1935, 361 p.

SEARLE (A. B.). — *An Encyclopoedia of Ceramic Industries*, Londres, Benn, 1929-30, 3 vol.

II. — *Etudes particulières.*

CASTAGNOL (E. M.). — *Etude micrographique et chimique de quelques poteries de fouille.* Institut Indochinois pour l'Etude de l'Homme. Bulletin et Travaux pour 1942, fasc. 1, Hanoi, 1943, p. 189-200 (surtout nature des argiles et étude des glaçures).

DIGBY (A.). — *Radiographic Examination of Perruvian Pottery Techniques.* Actes du XXVIII[e] Congrès des Américanistes, Paris, 1947, p. 605-608.

LUCAS (A.). — *Ancient Egyptian materials and industries*, Londres, Arnold, 1948, 3[e] éd., chap. IX : Glazed wares, p. 178-206. Chap. XV : Pottery, p. 420-441. (Surtout intéressant du point de vue de l'interprétation technique et archéologique des données de laboratoire.)

MUNIER (P.). — « Contribution à l'étude des céramiques de Bernard Palissy », *Bull. de la Société Française de Céramique*, n° 3, Paris, 1949, 22 p., 2 pl.

SCHUMANN (Th.). — A écrit plusieurs articles sur la poterie grecque et romaine parmi lesquels on peut citer en particulier : « Terra sigillata und die Schwarzrotmalerei der Griechen », *Forschungen und Fortschritte*, Berlin, 1943, p. 356-358.

SHEPARD (A. O.). — « Technological Notes on the Pottery of San Jose », *in* THOMPSON (J. E.) : *Excavations at San Jose, Carnegie Institution*, Washington, n. 506, 1939, p. 251-286. (Recherche d'origine d'après une étude pétrographique très précise des dégraissants et des minéraux de la région).

SHEPARD (A. O.). — « Rio Grande Glaze Paint Ware ; a study illustrating the place of ceramic technological analysis in archaeological research », *American Anthropology and History*, vol. VII, n. 39, Carnegie Institution of Washington, 1942 (On trouvera une analyse de ce travail dans *Antiquity*, 95, déc. 1950, p. 162-163).

Renseignements pratiques.

Les recherches sur les poteries sont poursuivies selon des directions très diverses et dans des conditions variées. Trois types de laboratoires peuvent être cités :

— Laboratoires équipés pour l'étude des poteries archéologiques. C'est le cas du laboratoire de Miss A. O. SHEPARD, Carnegie Institution of Washington, Department of Historical Research. Surtout spécialisé dans l'étude minéralogique des constituants.

— Services d'étude des poteries archéologiques, peu équipés mais travaillant en liaison avec des laboratoires spécialisés dans les différentes techniques utilisées. Formule qui semble mieux convenir aux possibilités économiques des services scientifiques européens, et présente en outre l'avantage de moins risquer le vieillissement dans des techniques de travail dépassées. C'est dans ce sens qu'essaie de s'équiper, modestement encore, le laboratoire de Technologie Comparée du Musée de l'Homme de Paris.

— Le plus souvent des études partielles sont entreprises à la demande d'un archéologue par divers laboratoires spécialisés. Il est évidemment impossible d'en dresser la liste. A titre indicatif, on peut citer pour Paris :

L'Institut de Céramique Française, 6, Grande Rue, Sèvres ;

Le Laboratoire de Minéralogie du Museum National d'Histoire Naturelle, 61, rue de Buffon, Paris, V^e ;

Le Conservatoire National des Arts et Métiers, 292, rue St-Martin, Paris IIIe.

Ces services peuvent répondre à des demandes de détermination ou d'analyse, et le font en général très volontiers dans la mesure où le chercheur qui les sollicite pose des questions précises, a déjà une idée de ce qu'il espère tirer des données fournies, c'est-à-dire possède une certaine connaissance des faits céramiques.

Dans la pratique, un premier débrouillage est possible avec un peu d'entraînement, sans spécialisation. On en acquiert surtout une plus grande précision des questions à poser, résultat déjà considérable qui permet d'orienter les échantillons vers un spécialiste.

Dans tous les cas il faut se souvenir qu'aucune conclusion sérieuse ne peut être tirée d'une poignée de tessons, même choisis comme représentatifs de l'ensemble (la sélection isole toujours les cas rares en beaucoup plus forte proportion que les tessons typiques, parmi lesquels certaines variétés peuvent ne pas apparaître à l'œil nu). Se souvenir aussi qu'une étude complète est rarement justifiée, et, pour ne pas rester une froide accumulation de formules sans signification, doit toujours être orientée vers la solution de problèmes précis, particuliers au site d'origine.

CHAPITRE XIV

L'ÉTUDE DES MÉTAUX (p. 281-297)

Notes bibliographiques :

Il existe un assez grand nombre d'études isolées qui ont été faites sur des objets préhistoriques et qui comportent des analyses et des remarques techniques (cf. DÉCHELETTE, *Manuel d'archéologie*, t. II, p. 175 à 188 ; t. III, p. 29 à 39). On en trouvera également un certain nombre dans les périodiques. Toutes ces études, même anciennes sont utiles car elles constituent des bases de départ pour les recherches actuelles. Il faut cependant vérifier un certain nombre d'observations.

Parmi les ouvrages généraux traitant de l'histoire des métaux en général, et dans lesquels on trouvera des renseignements bibliographiques complets il faut citer en particulier :

RICKARD (T. A.). — *Man and metals*, 2 vol. New York, 1931. Traduction française : *L'homme et les métaux*, Paris, 1936, Gallimard.

FORBES (R. J.), *Metallurgy in antiquity*, Lieden, 1950 ; E. J. Brill, edit. qui est l'ouvrage le plus récent sur la question et qui contient en outre une bibliographie complète en fin de chaque chapitre.

Il existe une bibliographie complète comprenant plus de trois mille titres d'ouvrages et d'articles traitant de la question de l'étude des métaux tant au point de vue historique que historico-technique à laquelle il est indispensable de se reporter pour toute étude de la métallurgie ancienne, c'est la *Bibliographia antiqua, philosophia naturalis* de R. J. FORBES, tome II, Metallurgie, publiée par le Nederlandsch institut voor het nabije oosten, Leiden, 1942. Cette bibliographie comprend les chapitres suivants : Littérature générale ; instruments pour la métallurgie ; les méthodes et procédés métallurgiques ; l'or ; l'argent et le plomb ; le mercure ; l'étain ; l'antimoine et l'arsenic ; le cuivre, le bronze, le laiton et les autres alliages de cuivre ; le fer en général ; le fer météorique dans l'antiquité ; l'acier dans l'antiquité ; le fer en Afrique ; le fer dans l'ancienne Egypte ; en Palestine et en Syrie ; dans l'Asie Mineure ; en Mésopotamie ; en Perse et dans l'Inde ancienne ; dans l'Extrême-Orient ; dans l'antiquité classique ; dans l'Europe préhistorique. Cette dernière section comprend 204 titres qui donnent l'état de la question jusqu'en 1939.

Parmi les travaux plus récents, on peut citer à titre d'exemple d'application d'études techniques et d'analyses concernant la métallurgie protohistorique :

OLDEBERG (Andreas). — *Metallteknik under Förhistorisk Tid*, 2 vol. in-4°, Lund, 1942. Ce magnifique ouvrage abondamment illustré est un exemple unique d'étude poussée sur les techniques métallurgiques jointe à une étude archéologique. L'auteur, à l'aide de macrophotographies, de radiographies, de métallographies et d'analyses de toutes sortes étudie l'évolution de techniques de fabrication d'objets en métaux précieux, en bronze et en fer depuis l'époque du bronze jusqu'aux grandes invasions, dans les pays nordiques.

SALIN (E.) et FRANCE-LANORD (A.). — *Le fer à l'époque mérovingienne*, Paris, 1948, Geuthner.

— *Le cimetière de Varangéville*, Gallia, tome IV-1946, travaux de laboratoire, p. 261 à 284. Cet article contient en particulier une étude complète sur l'analyse spectrale quantitative des bronzes.

— *La fabrication des épées damassées mérovingiennes et carolingiennes*, Le Pays Gaumais, n° 1, 2, 3, 1948. Exemple en particulier d'une étude complète de métallographie appliquée à la recherche d'une technique ancienne.

WEILL (Madame A. R.). — « Un problème de métallurgie archéologique : examen aux rayons X d'un objet égyptien en électrum ». Communication à la Société Française de métallurgie, *Revue de Métallurgie*, Paris, 1951., XLVIII, n. 2, p. 97

Pour terminer voici les références de trois ouvrages qui pourront être utilement consultés par ceux qui s'intéresseront à l'étude des antiquités métalliques.

GUILLET (L.). — *Les méthodes d'étude des alliages métalliques*, Paris, 1933, Dunod, édit.

GUILLET (L.) et PORTEVIN (A.). — *Précis de métallographie microscopique et de macrographie*, Paris, 1932, Dunod, édit.

ALTMAYER (M.) et GUILLET (L.). — *Métallurgie du cuivre et des alliages de cuivre*, Paris, 1925, J.-B. Baillière, édit.

STEIMETZ (E.). — *Essai de systématisation de l'analyse qualitative microchimique*, Nancy, 1937.

Il est également important de noter la récente création d'une publication française, *Techniques et Civilisations* (édit. Métaux, St-Germain-en-Laye), qui fait suite à *Métaux et Civilisations*, et qui étant destinée à s'intéresser tout particulièrement à l'histoire des techniques, sera largement ouverte à l'étude de la métallurgie ancienne.

Renseignements pratiques :

Actuellement les études de métallurgie ancienne sont poussées dans la plupart des pays, en particulier sous l'impulsion des Sociétés qui forment l'Union Internationale d'Histoire des Sciences et qui comprend en particulier les sociétés suivantes : Academia Nazionale dei Lincei, Rome. British Society for the History of Science. History of Science Society U.S.A. Société Egyptienne pour l'Histoire des Sciences... et de la plupart des universités.

Dans le domaine de la métallurgie associée à l'histoire, voici quelques-uns parmi les principaux chercheurs auxquels il est possible d'avoir recours :

En Angleterre :

Cecil H. DESCH, D. Sc. F. R. S. 4 Grosvenor Gardens, London.

J. NEWTON FRIEND, D. Sc., Ph. F. I. C., Birmingham.

Herbert MARYON, F. S. A. Departement of Research Laboratory, The British Museum, London.

Dr H. R. SCHUBERT, Historical Investigator, The Iron and Steel Institute, London.

En Suède :

Andreas OLDEBERG, Antikvarie, Statens Historiska Museum, Stockholm.

En Italie :

Instituto Centrale del Restauro, Rome. Directeur, Prof. BRANDI, Ateliers de restauration du Musée des offices, Florence.

Aux Etats-Unis :

Rutherford GETTENS, Washington.

Prof. Cyril SMITH, Université de Chicago.

Mr. CUSHING, Boston.

T. A. RICKARD, A. R. S. M. D. Sc. Berkeley, California.

En Hollande :

R. J. FORBES, Professeur, Amsterdam. Haringvlierstrat I.

En France :

Mme A. R. WEILL, 30, rue de Washington, Paris.

Colonel N. T. BELAIEW, I Rond Point Bugeaud, Paris.

Edouard SALIN, Membre correspondant de l'Institut, Nancy.

Albert FRANCE-LANORD, Conservateur au Musée Lorrain , Nancy.

A côté de ces personnes, les principales Sociétés d'archéologie sont susceptibles d'indiquer pour chaque pays les spécialistes intéressés.

De même, les principales Sociétés de technique métallurgique, comme la Société Française de Métallurgie, Iron and Steel Institute (London), American Iron and Steel Institute (New York), Archiv für Eisenhüttenwesen (Heidelberg-Berlin), pour n'en citer que quatre sont susceptibles d'indiquer ceux de leurs membres susceptibles de s'intéresser à des recherches d'ordre archéologique.

Les principaux musées de chaque pays possèdent des laboratoires spécialement aménagés, aussi bien pour la conservation des antiquités que pour les recherches scientifiques de tous ordres et en particulier en matière de métallurgie.

C'est ainsi que des techniciens peuvent entreprendre des analyses ou donner aux archéologues tous renseignements utiles. On peut citer en particulier parmi les principaux laboratoires européens :

Departement of Research Laboratory. British Museum, Londres.

Institute of Archaeology, University of London. Possède un laboratoire et des services techniques ; fait des cours de restauration et de conservation des objets de fouille.

Laboratoire central des Musées de Belgique, Palais du Cinquantenaire, Bruxelles.

Urgeschichtliches Institut der Universität Wien, Vienne, Autriche.

Laboratoire du Musée National Suisse, Zurich.

Statens Historiska museum Stockholm, Laboratoire, Suède.

Laboratoires des musées nationaux de Rome, Copenhague, Amsterdam, Berlin, Athènes.

En France, le Musée des Antiquités Nationales de St-Germain-en-Laye possède un laboratoire bien outillé ; le Musée Historique Lorrain à Nancy a créé un laboratoire de recherches archéologiques dont le but est d'assurer la conservation de tous objets provenant de fouilles archéologiques et de faire toutes les analyses. Ce laboratoire qui travaille pour tous les musées de France et les collections particulières est particulièrement spécialisé dans l'étude des métaux.

Il convient également de mentionner la toute récente création à Paris d'un organisme ayant pour mission l'étude de la métallurgie ancienne, sous les auspices de la Direction des Musées de France et de la Société Française de Métallurgie.

LA CONSERVATION DES OBJETS PROVENANT DES FOUILLES

Prendre l'initiative d'exhumer des documents qui se sont conservés pendant des millénaires, est s'engager à les léguer en bon état à la postérité. Il a été impossible de traiter en détail au cours de cet ouvrage les problèmes relatifs à la conservation des objets dans les musées ou dans les collections privées, cependant nous pensons être utile à certains lecteurs en leur donnant ici quelques renseignements très sommaires relatifs à ces questions.

Dès l'exhumation d'un objet, les conditions qui avaient favorisé sa conservation sont brusquement abolies et transformées. Son équilibre chimique est rompu, et il faut *immédiatement* lui faire subir certains traitements qui empêcheront son altération rapide. Les trouvailles des tombeaux égyptiens ont été les premières à provoquer des recherches sur les procédés de conservation. Depuis les méthodes se sont perfectionnées : elles sont nombreuses et complexes. Voici les adresses de quelques laboratoires spécialisés dans ces questions et les titres de quelques publications fondamentales.

II. — *Laboratoires* :

Laboratoire d'étude scientifique des objets d'art et d'archéologie du Musée du Louvre, dirigé par Mme M. Hours.

Laboratoire Central des Musées de Belgique installé au Musée Royal du Cinquantenaire à Bruxelles, dirigé par M. Paul Coremans.

Laboratoire du British Museum à Londres, sous la direction de M. H.-J. Plenderleith.

Laboratoire de conservation du Musée National de Copenhague, sous la direction de M. Knud Thorvildsen.

Laboratoire du Musée Lorrain à Nancy, sous la direction de MM. Salin et France-Lanord.

I. — *Notes bibliographiques* :

Rathgen (Friedrich). — *Die Konservierung von Altertumsfunden.* Bd I : Stein und Steinartige Stoffe. Bd II : Metalle und Metallirungen, organische Stoffe. Leipzig, Walter de Gruyter 1926 (Col : Handbücher des Stattlichen Museen in Berlin).

Lucas (A.). — *Antiques, their restoration and preservation.* London, 1924, 234 p., (2e éd. en 1932).

Plenderleith (H. J.). — *The preservation of Antiquities.* London, The Museum Association, 1934, 71 p., 6 pl. (On y trouvera des chapitres sur le traitement des matériaux organiques (cuirs, textiles, bois, ivoire et os), des matières siliceuses (pierres, poteries, verreries, vernis et émaux) et des métaux (fer, acier, cuivre, bronze, electrum, or, étain, plomb, etc.).

R. J. Forbes. — *Metallurgy in Antiquity*, Leiden, E. J. Brill, 1950. (nombreux exemples de restauration de pièces métalliques.)

ZUROWSKI (Tadeuz). — « Electro-conservation », dans *Swiatowit*, t. XX, Varsovie, 15 mai 1949. (Sur un procédé de conservation des bois immergés utilisé avec succès à Biskupine. Mis au point pour affermir les fondations de l'église Sainte-Anne, lors du creusement du métro de Varsovie, ce procédé (électro-endosmose) présente le double avantage d'être relativement peu coûteux et de pouvoir être employé sur place.)

D'autre part, on pourra consulter les collections de *Icom News*, bulletin publié par le Conseil International des Musées, UNESCO, et de *Mouseion*, publié par l'Office international des Musées et de la SDN. Cette dernière revue a paru jusqu'en 1946 et a été remplacée à partir de 1948 par *Museum*, publié par l'UNESCO.

Dans le numéro spécial de *Mouseion* consacré à la technique des fouilles (XIII[e] année, vol. VL-VIL, n. 1-2, 1939), on trouvera une étude p. 145-176 sur le traitement à faire subir aux objets sur l'emplacement même des travaux avec bibliographie, (objets à laisser sur place, traitement de premier secours pour les objets à transporter ou à confier à des musées locaux, emballage, transport). D'autre part, à l'index alphabétique des matières publié par *Mouseion* et portant sur les volumes 1 à 50 (1927-1940), on trouvera au mot conservation des renvois à divers articles sur la conservation des objets en os, en ivoire, en vannerie, etc.

INDEX

On trouvera dans cet index tous les noms d'auteurs et les noms géographiques cités dans l'ouvrage. Les termes se rapportant aux matières traitées n'ont été retenus que dans la mesure où la table des matières ne pouvait permettre de les localiser rapidement, ou lorsque des renseignements les concernant se trouvaient dans plusieurs chapitres. Les noms d'auteurs sont en capitales, les noms de lieux en italiques. Entre parenthèses est indiqué le sujet du chapitre ou du paragraphe à propos duquel est retenu tel ou tel nom.

A

B

C

D

E

F

G

H

K

L

M

N

O

T

U

V

TABLE DES FIGURES

TABLE DES PLANCHES HORS-TEXTE

TABLE DES MATIÈRES

TROISIEME PARTIE. — LE CADRE CHRONOLOGIQUE.

QUATRIEME PARTIE. — L'ETUDE DES VESTIGES DE L'INDUSTRIE HUMAINE.

ACHEVÉ D'IMPRIMER
LE 10 JUIN 1952
PAR LA FONDERIE DU MIDI
A BORDEAUX

Archaeology – Technique

Archaeology >< Prehistory

Dépôt légal :
2e trim. 1952